

Kysyntäjoustokokeilusta näkemystä sähköjärjestelmän murrokseen

Virtuaalinen palveluympäristö –kokeilu

Siiri Söyrinki

Helsingin yliopisto

Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta

Ympäristömuutos ja -politiikka

Pro gradu -tutkielma

2019

Ohjaajat:

Eva-Karin Heiskanen

Sirkku Juhola



Tiedekunta – Fakultet – Faculty Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree Programme Ympäristötieteiden koulutusohjelma	
Tekijä – Författare – Author Siiri Söyrinki			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Kysyntäjoustokokeilusta näkemystä sähköjärjestelmän murrokseen – Virtuaalinen palveluympäristö –kokeilu			
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Ympäristömuutos ja –politiikka			
Työn laji – Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma		Aika – Datum – Month and year 13.2.2019	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 91+3
Tiivistelmä – Referat – Abstract <p>Sääriippuvaisen tuuli- ja aurinkosähköntuotannon kasvu aiheuttaa haasteita nykyiselle sähköjärjestelmälle, missä tuotanto ja kulutus täytyy pitää tasapainossa koko ajan. Siirtyminen vähäpäästöiseen sähköntuotantoon edellyttää uusia ratkaisuja lisätä joustoa sähköverkkoon. Sähkönkulutus on nähty melko joustamattomana tekijänä sähköverkon tasapainon hallinnassa, mutta teknologian kehitys mahdollistaa myös kulutuksen osallistumisen sähköverkon tasapainon ylläpitoon. Kysyntäjousto on yksi energiahallinnan keino, jolla sähkönkulutusta siirretään ulkoisen kannustimen vaikutuksesta sähköverkon tasapainottamiseksi. Järjestelmätasolla kysyntäjousto mahdollistaa sääriippuvaisen tuotannon lisäämisen vaarantamatta sähköverkon toimintaa sekä vähentää sähköntuotannon päästöjä järjestelmän tasolla.</p> <p>Kysyntäjoustoa on tutkittu viime vuosina ahkerasti, mutta pienempien kulutuskohteiden kysyntäjoustoön liittyy kuitenkin epävarmuuksia, eivätkä toimintamallit ole vielä vakiintuneet. Viime vuosina kantaverkkoyhtiö Fingrid on yrittänyt kartoittaa uusia kysyntäjoustokohteita. Sähköalan toimijat ja sähkönkäyttäjät ovat kokeiluillaan pyrkineet löytämään keinoja kysyntäjoustoresurssien hyödyntämiseksi. Energiamurroksen tutkimuksessa on tunnistettu innovaatioiden skaalaamisen haaste. Innovaatiopolkujen strategisen hallinnan teoria korostaa kokeilujen merkitystä kestävien innovaatioiden käyttöönotossa ja murrosten edistämiseksi.</p> <p>Tässä tapaustutkimuksessa tarkastelen, miten kokeilu edistää kysyntäjouston käyttöönottoa uusissa kulutuskohteissa, joista esimerkkinä toimii päivittäistavarakauppa. Valitsin tutkimuskohteeksi Virtuaalinen palveluympäristö –kokeilun (VIRPA-B), jossa kysyntäjoustoa testattiin kahdessa päivittäistavarakaupassa. Tutkimusaineisto kerättiin haastatteleamalla kokeiluun osallistuneita toimijoita ja asiantuntijoita sekä analysoimalla kokeilua käsitteleviä dokumentteja. Teoreettisen viitekehyksen avulla analysoin, miten kokeilun tavoitteet, oppiminen ja skaalautuminen tuottavat osaamista kysyntäjouston edistämiseksi.</p> <p>Tutkielma tuo esille toimijoiden näkökulmaa uuden teknologian ja toimintamallin käyttöönotossa käytännön olosuhteissa. Tutkielman tulokset osoittavat, että päivittäistavarakaupassa on säädettäviä sähkölaitteita, joiden sähkönkulutusta voidaan säätää ilman, että kaupan toiminta häiriintyy. Teknologia ei toimijoiden mukaan rajoita kysyntäjoustoön osallistumista, mutta mittauslaitteiden asennukseen liittyi haasteita. Suurimmaksi esteeksi näyttäisivät muodostuvan markkinasäännöt, jotka eivät kannusta sähkönkäyttäjää investoimaan kysyntäjoustoön. VIRPA-B –kokeilu ei johtanut toimialan murrokseen, mutta siitä seurasi jatkohankkeita, jotka edistävät innovaatiopolun kehitystä. Kokeilujen avulla toimijat voivat kehittää osaamistaan ja myös vaikuttaa uuden toimintamallin kehitykseen. Samalla voidaan tuottaa ratkaisuja kysyntäjouston esteiden ylittämiseksi. Tulokset viittaavat siihen, että teknologioita, kuten aurinkopaneelleja, kysyntäjoustoa ja energiatehokkaita laitteita yhdistelemällä voitaisiin kiinteistön tasolla saavuttaa huomattavia säästöjä sähkönkulutuksessa. Kysyntäjouston yhdistäminen osaksi älykästä kiinteistön energianhallintaa voisi edistää kysyntäjouston käyttöönottoa. Tutkielma osoittaa, että kokeiluilla voidaan tuottaa osaamista energiamurroksen edistämiseksi.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Kysyntäjousto, sähköjärjestelmä, energiamurros, innovaatiopolkujen strateginen hallinta, kokeilut, tapaustutkimus, tavoitteet, oppiminen, skaalautuminen			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Eva Heiskanen, Sirkku Juhola			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			



Tiedekunta – Fakultet – Faculty Faculty of Biological and Environmental Sciences		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree Programme Environmental science	
Tekijä – Författare – Author Siiri Söyrinki			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Piloting demand response for electricity system transition – Virtual Service Environment experiment			
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Environmental change and policy			
Työn laji – Arbetets art – Level Master's thesis	Aika – Datum – Month and year 13.2.2019	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 91+3	
<p>Tiivistelmä – Referat – Abstract</p> <p>Variable electricity production poses challenges for the electricity grid, where demand and production must be balanced at all times. Transition to variable electricity production requires new solutions for grid flexibility. Electricity consumption has traditionally been an inflexible component in the electricity system but technological development enables demand side flexibility. Demand response (DR) is demand side measure, where energy consumption is shifted due to an external incentive. DR has multiple benefits such as improving reliability with high integration of variable energy production and cutting emissions from peak production.</p> <p>Despite years of modelling and analysing DR, there is lack of experience with commercial end-users in real-life context. In recent years, transmission system operator Fingrid has conducted experiments with stakeholders to find new demand response resources outside the traditional industrial end-users. The market models and services have not yet matured and therefore actors experiment to find solutions to resolve demand response barriers. The difficulty of scaling up sustainable innovations is a well-known challenge in energy transition research. In strategic niche management theory experiments are seen as tools for sustainable transition.</p> <p>This qualitative case study examines how piloting demand response in grocery store promotes energy transition. I chose the case of Virtual Service Environment (VIRPA-B) experiment, where participants tested DR in two grocery stores. The data were gathered in eight interviews with stakeholders and experts and through literature review. With theoretical framework I analysed, how the experiment contributes to implementation of demand response through expectations, learning and the ways pilot was scaled up after the experiment.</p> <p>Thesis sheds light to stakeholders' role in implementing new technology and business model in real-life context. The results indicate that DR does not disturb the functions of the grocery store. The technology is matured, but the instalment practises have not been standardized. The greatest barrier for upscaling seems to be the regulations of the electricity markets, as they do not encourage end-users to invest in DR. VIRPA-B experiment did not lead to a rapid upscaling. However, lessons scaled up through other projects that support the niche development. For actors experiments are a platform to develop expertise and influence the new operating models. To overcome the barriers, more attention should be directed at the synergies between the technologies. In VIRPA-B pilot actors noted benefits with solar panels, energy efficiency and DR. Combining technologies can lead to significant electricity savings. Promoting DR as a part of intelligent building automation system could also help overcome DR barriers. The results of thesis indicate that experiments can produce capabilities that promote energy transition.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Demand response, experiment, commercial end-user, strategic niche management, expectations, learning, scaling up, Energy Transition, case study			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Eva Heiskanen, Sirkku Juhola			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

Sisällysluettelo

1. Johdanto	1
2. Energiajärjestelmän murros	5
2.1 Jouston tarve sähköjärjestelmässä lisääntyy	5
2.2 Kysyntäjousto	9
3. Teoreettinen viitekehys	17
3.1 Kestävyysmurros	17
3.2 Systemiset innovaatiot	19
3.3 Innovaatiopolkujen strateginen hallinta	21
3.4 Viitekehysten rajoitteet	25
3.5 Tutkimuskysymykset	27
4. Aineisto ja menetelmät	28
4.1 Tapaustutkimus	29
4.2 Virtuaalinen palveluympäristö – kysyntäjoustokokeilu	31
4.3 Aineistonkeruumenetelmä	34
4.4 Analyysimenetelmä	38
5. Kokeilun tuloksia	41
5.1 Kokeilun tavoitteet	41
5.2 Kokeilusta oppiminen	50
5.3 Kokeilun skaalautuminen	66
6. Tulosten tarkastelu	71
6.1 Tutkielman tulokset aiemman tutkimuksen valossa	71
6.2 Tutkielman kriittinen tarkastelu	81
7. Loppupäätelmät	83
8. Lähdeluettelo	85
Liitteet	92

1. Johdanto

Ilmastonmuutoksen hillitseminen edellyttää energiajärjestelmän siirtymistä hiilineutraaliin energiantuotantoon, koska energiantuotanto aiheuttaa merkittävän osan kasvihuonekaasupäästöistä. Viime vuosina uusiutuvien energianlähteiden osuus sähköntuotannossa on ollut kasvussa. Energiajärjestelmä on murroksessa (Child, Koskinen, Linnanen & Breyer 2018). Sääriippuvaisen uusituvan energiantuotannon lisääntyessä on havaittu haasteita teknologioiden yhteensovittamisessa ja sähkömarkkinoiden mekanismeissa (Lund, Lindgren, Mikkola & Salpakari 2015). Tuuli- ja aurinkosähkö eroavat tuotantoprofiileiltaan perinteisistä tuotantolaitoksista siinä, että niiden tuotantoa ei voi säätää kulutuksen mukaan (Aalto, ym. 2012). Sääriippuvaisen sähköntuotannon lisääntyessä myös muun sähköjärjestelmän on sopeuduttava vaihtelevaan tuotantoon.

Sähköverkon toiminta perustuu tuotannon ja kulutuksen tasapainon ylläpitämiseen joka hetkellä (Järventausta ym. 2015). Vaihtelevan tuuli- ja aurinkosähkötuotannon lisääntyessä ja säätövoimalaitosten poistuessa käytöstä, sähkömarkkinoilta poistuu joustavaa energiantuotantoa. Käytössä olevan sähköntuotannon säädettävyys heikkenee ja tarvitaan ratkaisuja vaihtelevan sähköntuotannon tasapainottamiseksi. Perinteisesti sähköverkon tasapainoa on ylläpidetty säätämällä tuotantoa, mutta teknologian kehitys mahdollistaa jouston lisäämisen kulutusta ohjaamalla (Paterakis, Erdinc & Catalão 2017). Tieto- ja viestintäteknologiaa sekä sähkötekniikkaa yhdistävien älyverkkojen avulla voidaan toteuttaa siirtyminen kestäväan sähköjärjestelmään (Caputo, Bushnova & Wallezky 2018). Yksi älyverkkojen mahdollistama toimintamalli on kysyntäjousto. Kysyntäjousto on sähkönkulutuksen ajallista siirtämistä ulkoisen kannustimen vaikutuksesta (Albadi & El-Saadany 2008). Se on energianhallinnan muoto, jolla pyritään ylläpitämään sähköverkon tasapainoa huippukulutus- ja häiriötilanteissa leikkaamalla kulutushuippuja (Aalto ym. 2012). Viime vuosiin asti kysyntäjoustoon ovat voineet osallistua vain suuret teolliset sähkönkuluttajat, mutta nyt markkinapaikat haluaan avata myös pienemmille sähkönkäyttäjille, kuten liiketiloille ja kotitalouksille (Torriti, Hassan & Leach 2010).

Tässä tutkielmassa tarkastelen, miten kysyntäjoustokokeilu edistää uuden toimintamallin käyttöönottoa. Innovaatioiden leviäminen on aiempien teknologiamurrosten tarkastelussa havaittu hitaaksi ja epävarmaksi (Kemp, Schot & Hoogma 1998). Sähköjärjestelmän vallitsevat toimintamallit, toimijat ja infrastruktuuri muodostavat esteitä uusien ratkaisujen käyttöönotolle.

Kysyntäjoustoressurssien laajamittaiseen hyödyntämiseen liittyy vielä paljon avoimia kysymyksiä (Järventausta ym. 2015). Teollisuudessa kysyntäjoustopuuta on hyödynnetty tehon hallinnassa jo pitkään. Aihetta on myös tutkittu 1980-luvulta lähtien, mutta kysyntäjoustopuun laajentaminen pienempiin kulutuskohteisiin edellyttää teknologian ja ohjelmistojen soveltamista, kuten tarkempien ja älykkäämpien mittauslaitteiden asentamista sähkölaitteisiin tai kiinteistöihin (Annala ym. 2018a). Suurempi muutos on kuitenkin palveluissa ja sähkömarkkinoilla (Järventausta ym. 2015). Energiamurroksen myötä sähkönkäyttäjien rooli sähköjärjestelmässä muuttuu passiivisesta käyttäjästä aktiiviseksi toimijaksi. Rakennukset eivät tulevaisuudessa pelkästään kuluta sähköä, vaan myös tuottavat sitä ja osallistuvat sähköverkon tasapainon hallintaan. Kasvava joustopuun tarve ajaa sähkömarkkinat uudistamaan hinnoittelu- ja toimintaperiaatteitaan.

Kysyntäjoustopuuta on tutkittu Suomessa viime vuosina aktiivisesti (Työ- ja elinkeinoministeriö 2015; Järventausta ym. 2015; Pakkala, Uimonen & Väre 2017; Annala ym. 2018a). Tutkimuksissa on tunnistettu, että Suomella on mahdollisuus olla kysyntäjoustopuun edelläkävijänä Euroopassa, mutta teollisuuden ulkopuolella olevaa potentiaalia on hyödynnetty toistaiseksi vähän (Annala ym. 2018a). Samaan aikaan kysyntäjoustopuun merkitys on muuttumassa myös muualla Euroopassa (Torriti ym. 2010). Kysyntäjoustopuun avaaminen pienille ja keskisuurille sähkönkuluttajille on vielä useissa maissa kehittymässä oleva liiketoimintamalli. Viimeaikaiset tutkimukset ovat keskittyneet kysyntäjoustopuun esteiden tunnistamiseen ja markkinoiden analysoimiseen (Annala ym. 2018a).

Tutkielmassani tarkastelen kysyntäjoustopuuta uutena toimintamallina, joka tulee sekä muuttamaan nykyistä sähköjärjestelmää, että samaan aikaan mahdollistamaan siirtymisen uusiutuviin energianlähteisiin. Systemiset innovaatiot leviävät hitaasti, koska ne eivät usein sovellu nykyiseen järjestelmään, vaan vallitsevia olosuhteita täytyy muokata niille edullisemmiksi (Schot & Geels 2008). Kysyntäjoustopuun käyttöönoton edistämiseksi markkinatoimijat tekevät pilottihankkeita, joissa teknologiaa, toimintamalleja ja arvoketjua kehitetään yhdessä markkinatoimijoiden kanssa (Annala ym. 2018b). Energiamurroksen tutkimuksessa kokeilut nähdään tärkeinä kestävän kehityksen mukaisten teknologioiden käyttöönotossa (Kemp ym. 1998). Innovaatiopolkujen strategisen hallinnan (*strategic niche management*) kirjallisuudessa on tutkittu empiiristen havaintojen perusteella, miten teknologioiden käyttöönottoa voitaisiin strategisesti ohjata kestävyysmurroksen edistämiseksi (Raven, Van den Bosch & Weterings 2010).

Innovaatiopolkujen kokeilujen analysoinnissa korostetaan sisäisten prosessien merkitystä uusien teknologioiden hyväksymisessä ja kehittämisessä. Tärkeiksi tunnistettuja sisäisiä prosesseja ovat tavoitteiden kirkastaminen (*articulation*), verkostoituminen ja oppiminen (Kemp ym. 1998). Käytännön kokeilussa voidaan sovittaa yhteen erilaisten toimijoiden odotuksia ja vaatimuksia (Schot

& Geels 2008). Tässä tutkielmassa tarkastelen kokeilun sisäisten prosessien ja skaalautumisen kautta, miten kokeilu muuttaa mukana olevien toimijoiden ymmärrystä kysyntäjoustopuusta ja sähköjärjestelmän vakiintuneista toimintamalleista.

Suomessa on viime vuosina aloitettu useita kysyntäjoustopuun kehittämiseen tähtääviä kehitys- ja tutkimushankkeita (Annala ym. 2018b). Sähköjärjestelmän vakiintuneet ja uudet toimijat ovat lähteneet yhdessä toteuttamaan kokeiluita, joiden tarkoituksena on lisätä joustopuuta sähkönkulutusta ohjaamalla. Tutkimuskohteena on Virtuaalinen palveluympäristö -pilotti, jossa osallistujat kokeilivat kysyntäjoustopuuta kahdessa päivittäistavarakaupassa (VTT 2016). Jatkossa rakennuksissa olevaa joustopuuta energiankulutusta voitaisiin ohjata älyverkkoteknologian ja automaation avulla. Virtuaalinen palveluympäristö, eli VIRPA-B –tutkimushankkeen tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon kysyntäjoustopuukapasiteettia päivittäistavarakaupasta löytyy ja millaisille markkinapaikoille sillä voisi osallistua (VTT 2016).

Kokeilussa on pienessä mittakaavassa kokeiltu älyverkkoteknologiaa, jonka on ajateltu olevan tärkeä osa tulevaisuuden kestävästä energiasuoritusjärjestelmästä. Ensimmäinen pilottikohteena on uusi energiatehokas päivittäistavarakauppa, jonka vertailukohteeksi valittiin vanhempi standardikauppa. Tutkimuksen kohteena on päivittäistavarakauppojen kysyntäjoustopuukapasiteetti, eli se voidaanko kaupan sähkölaitteita säätää niin, että eri laitteiden kysyntäjoustopuuta voitaisiin yhdistää ja niistä muodostaa virtuaalinen voimalaitos (VTT 2016). Virtuaalinen voimalaitos voisi osallistua sähkömarkkinoille kuten sähköntuotantolaitoksetkin ja sen kapasiteettia voitaisiin käyttää sähköverkon tasapainottamiseen. VIRPA-B –kokeilussa kehitettiin uutta menetelmää, jota ei tietyvästi oltu aikaisemmin kokeiltu Suomessa. Hanke päättyi keuhällä 2018.

Kokeiluun osallistui laaja ja monialainen toimijaverkosto, jossa oli mukana sähkökäyttäjii, sähkömarkkinapaikkojen ylläpitäjiä, tutkijoita ja palvelunkehittäjiä. Innovaatiopolkuja kehitettäessä monipuolinen verkosto mahdollistaa eri näkökulmien huomioimisen ja haastaa toimijoiden vakiintuneita ajatusmalleja (Schot & Geels 2008). Kantaverkkoyhtiötä lukuun ottamatta muut toimijat tulevat vakiintuneiden sähkömarkkinatoimijoiden ulkopuolelta. Kokeilun analysointi havainnollistaa näiden vähän tutkittujen toimijoiden roolia sähköjärjestelmän murroksessa. Lisäksi se mahdollistaa uuden toimintamallin käyttöönottoon liittyvien haasteiden ja mahdollisuuksien tarkastelun käytännön esimerkin kautta. Toimijoiden muuttuvan aseman, kuten esimerkiksi sähkökäyttäjien roolin vahvistuminen ovat muutoksia, joihin sähkömarkkinoiden on tulevaisuudessa sopeuduttava, jos kysyntäjoustopuun osallistuvien toimijoiden määrä kasvaa (Paterakis ym. 2017). Sähkömarkkinoiden aktiiviset toimijat voivat edistää energiamurrosta omien investointiensa kautta.

Kysyntäjouaston laajentaminen uusille sähkökäyttäjille vaatii teknologian soveltamista sähkökulutuksen ohjaukseen ja uudenlaisen liiketoiminnan kehittämistä yrityksen ydintoiminnan ulkopuolelle. Tutkielmassa tarkastelen uuden teknologian käytännön sovellusta kokeiluun osallistuneiden toimijoiden näkemysten kautta. Tapaustutkimuksen avulla tutkin sitä, miten kysyntäjousto otetaan käyttöön uusissa kulutuskohteissa. Skaalautuminen on keskeinen haaste kestävien ratkaisujen käyttöönotossa (Kemp ym. 1998). Käytän Naberin ja muiden (2017) luokittelua analysoidakseni, miten monella eri tavalla kokeilun aikana saadut opit voivat levitä. Syvemmän kokonaiskuvan rakentamiseksi olen valinnut kolme tutkimuskysymystä, jotka olen johtanut innovaatiopolkujen strategisen hallinnan teoriasta (Kemp ym. 1998).

- 1) Millaisia tavoitteita ja visioita kokeilun toimijoilla on?
- 2) Mitä toimijat oppivat kokeilussa?
- 3) Miten kokeilua skaalataan kokeilun päätyttyä?

Kysyntäjouaston mahdollistaa vaihtelevan tuuli- ja aurinkosähköntuotannon sähköverkkoon ilman fossiilisilla polttoaineilla tuotettua säätövoimaa ja siten edistää kansallisia ilmastotavoitteita (Torriti ym. 2010). Koska Suomessa kysyntäjousto halutaan edistää markkinaehtoisesti kokeilujen kautta, on tärkeää ymmärtää, miten kokeilut edistävät kysyntäjouaston esteiden purkamista ja energiamurrosta (Kivimaa ym. 2017). Tämän tutkielman tulokset tarkastelevat muun muassa kysyntäjoustoprojektin liittyviä odotuksia, esteitä ja ratkaisuehdotuksia. Käytännön kontekstissa tehdyssä kokeilussa toimijat kehittävät osaamista, verkostoja ja uusia toimintamalleja. Kokeilujen myötä ratkaisut voivat levitä laajemmalle, mikä edistää kysyntäjouaston käyttöönottoa.

Tutkielman seuraava luku käsittelee yksityiskohtaisemmin sähköjärjestelmän tasolla tapahtuvia muutostrendejä ja kysyntäjouaston käsitettä. Kolmannessa luvussa esittelen tutkielman teoreettisen viitekehyksen sekä kertaan teoriaan pohjautuvat tutkimuskysymykset. Luvussa neljä käyn läpi tutkielman teossa käytetyt menetelmät, esittelen Virtuaalisen palveluympäristö –kokeilun ja sitä koskevan aineiston keruun ja analysoinnin. Tutkielman tulokset on kuvattu luvussa viisi ja sen jälkeen luvussa kuusi tarkastelen tuloksia aikaisemman tutkimuksen ja teoreettisen viitekehyksen valossa. Tutkielma päättyy johtopäätöksiin, jossa pohdin laajemmin kysyntäjouaston kehitystä sähköjärjestelmän murroksessa.

2. Energiajärjestelmän murros

Tässä luvussa avaan tutkielman kontekstia osana energiamurrosta. Ilmastonmuutoksen hillitseminen on noussut poliittiselle agendalle ja sen seurauksena energiajärjestelmää on alettu tarkastella uudelleen. Taustoittavassa kappaleessa kuvailen sähköjärjestelmän suuria kehityslinjoja maailmalla ja Suomessa, jotka selittävät tutkielman aiheen ajankohtaisuutta. Lisäksi avaan tutkielman kannalta keskeisiä käsitteitä. Ensimmäisessä alaluvussa 2.1 taustoitan jouston tarpeen kasvamisen syitä ja tarkastelen erilaisia keinoja sen lisäämiseksi sähköjärjestelmässä. Toinen alaluku 2.2 avaa kysyntäjouston käsitettä, peruseriaatteita ja aiempaa tutkimusta. Lisäksi kuvaan miten kysyntäjoustoa edistetään Suomessa. Koska kysyntäjousto on laajasti käytetty käsite, pyrin tarkentamaan kysyntäjouston käsitettä tämän tutkielman kehityksessä.

2.1 Jouston tarve sähköjärjestelmässä lisääntyy

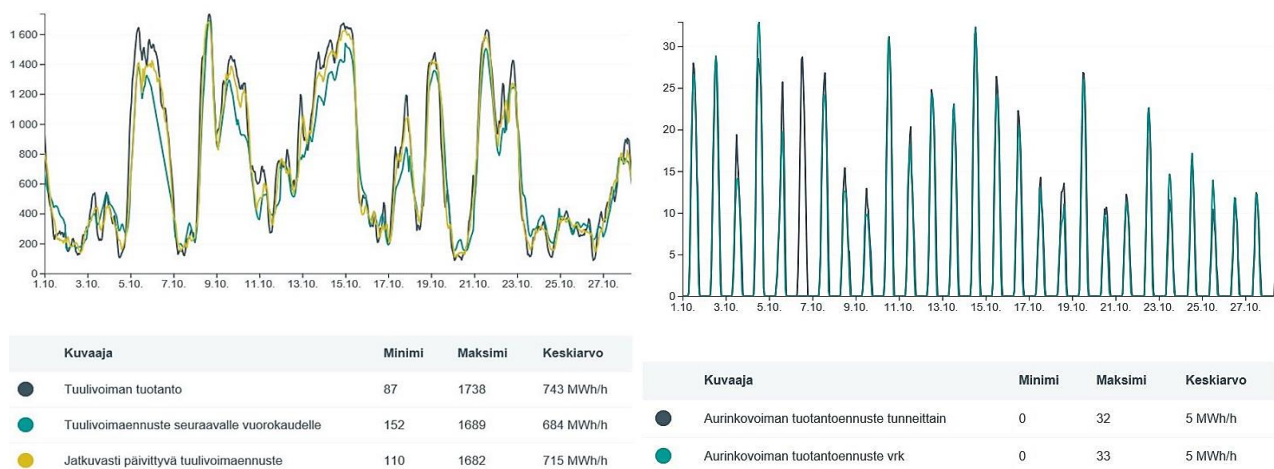
Vuonna 2014 noin 80% prosenttia maailman energian loppukulutuksesta oli peräisin fossiilista polttoaineista (International Energy Agency, IEA 2014). Samaan aikaan maailman energiankulutus on kasvussa (Ellabban, Abu-Rub & Blaabjerg, 2014). Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi on vähennettävä fossiilisten energianlähteiden käyttöä. Muutos kestävään energiajärjestelmään on jo käynnissä (Child ym. 2018). Vuonna 2016 kansainväliset investoinnit uusiutuviin energiateknologioihin kasvoivat nopeammin verrattuna muihin energian tuotantomuotojen investointeihin (IEA 2017a). Investoinnit ilmastoystävällisempään teknologiaan ovat lisääntyneet ilmastotavoitteiden ja teknologian kehityksen myötä (IRENA 2018). Uusiutuvat energianlähteet, kuten tuuli- ja aurinkoenergia ovat jo taloudellisesti ja teknologisesti varteenotettavia teknologioita perinteisten tuotantomuotojen rinnalla (Child ym. 2018; IRENA 2018). Tästä huolimatta energiaan liittyvät hiilidioksidipäästöt nousivat ennätyskorkealle (32.5Gt) vuonna 2017 (IEA 2018, Global Energy & CO2 Status Report 2017).

Vuoteen 2030 mennessä Suomi on sitoutunut energia ja ilmastostrategiassaan nostamaan uusiutuvan energian osuuden 50 %: tiin (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Vuonna 2016 uusiutuvien energianlähteiden osuus oli 45 %, josta tosin aurinko- ja tuulivoiman osuus sähköntuotannossa oli

noin 5%. Pienestä osuudestaan huolimatta sääriippuvaisen energiantuotannon osuus kasvaa nopeasti. (Tilastokeskus 2017)

Systeemin muutos on kuitenkin monimutkaisempi prosessi, eikä se tapahdu vain rakentamalla uutta hiilineutraalia tuotantoa. Hiilineutraalit energiaratkaisut, kuten aurinko- ja tuulivoima muuttavat oleellisesti perinteistä energiajärjestelmää ja luovat uusia haasteita (Annala, Honkapuro & Ollikka 2016; Lund ym. 2015). Varsinkin sähköjärjestelmään kohdistuu muutospaineita. Sähkönkulutuksen odotetaan kasvavan, kun yhteiskunta sähköistyy. Sähkönkulutuksen uskotaan lisääntyvän erityisesti lämmityksessä ja liikenteessä sähköautojen yleistyessä. (IEA 2017b) Samaan aikaan sähköntuotanto on yhä hajautetumpaa, mikä toisaalta parantaa energiaturvallisuutta, mutta vaikeuttaa järjestelmän hallintaa. Aurinko- ja tuulivoima lisäävät vaihtelevuutta ja epävarmuutta sähköjärjestelmässä (Verzijlbergh, Vries, Dijkema & Herder 2017). Ne eroavat tuotantoprofiileitaan merkittävästi nykyisestä keskitetystä energiatuotannosta, missä tuotantoa voidaan säätää kulutuksen mukaan: vaihtelevien energianlähteiden tuotanto riippuu sääolosuhteista (Järventausta ym. 2015). Vaikka teknisesti tuuli- ja aurinkovoiman tuotantoa voidaan jossain määrin säätää, ei se ole ilmaston kannalta eikä taloudellisesti kannattavaa. Kuva 2.1 havainnollistaa tuuli- ja aurinkosähköntuotannon vaihtelua lokakuussa 2018. Sääriippuvaisen tuotannon säätökyky on heikko, eivätkä sähköntuotannon ja -kulutuksen profiilit aina kohtaa. Vaihtelevan tuotannon lisääntyminen tuo uusia haasteita sähköjärjestelmän hallintaan (Verbong & Geels 2007). Kokemukset Saksasta ja Tanskasta, joissa on paljon sääriippuvaista tuotantoa, ovat nostaneet esiin teknologiaan ja markkinasäätöihin liittyviä ongelmia (Lund ym. 2015).

Tuulivoiman ja aurinkovoiman tuotanto (MWh/h) lokakuussa 2018



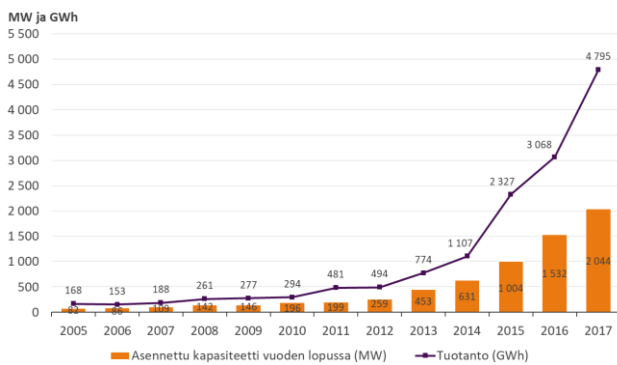
Kuva 2.1. Tuuli- ja aurinkovoiman tuotanto vaihtelee huomattavasti. Havainnollistava kuva kuukaudensisäisestä tuotannon vaihtelusta lokakuussa 2018 (Lähde: Fingrid 2018c; Fingrid 2018d)

Sähköverkon toiminta perustuu jatkuvaan tuotannon ja kulutuksen tasapainoon. Sähköverkon taajuuden sallittu vaihteluväli on 49,9 - 50,1 Hz. Taajuus kuvaa tuotannon ja kulutuksen välistä tasapainoa sähköverkossa (Aalto ym. 2012). Jos sähköverkon taajuus laskee alle 50 Hz se tarkoittaa, että kulutus on tuotantoa suurempaa. Epätasapaino heikentää sähköverkon stabiiliutta ja saattaa äärimmäisissä tapauksissa johtaa sähkökatkoihin. Taajuuden ylläpidosta vastaa Suomessa kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj (Fingrid 2018b).

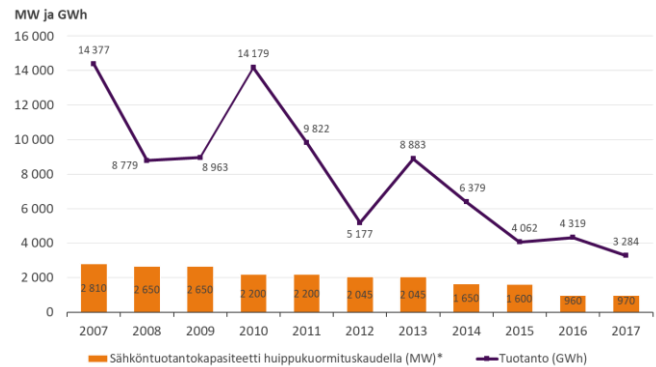
Murros kestävään energiajärjestelmään vaatii ratkaisuja, jotka ylläpitävät sähköverkon tasapainoa vaihtelevan ja ennakoimattoman sähköntuotannon lisääntyessä (Lund ym. 2015). Sähköjärjestelmään täytyy lisätä joustoa (*flexibility*), jotta voidaan siirtyä vähäpäästöiseen sähköntuotantoon järjestelmän luotettavuutta vaarantamatta (IEA 2013; Paterakis ym. 2017). Joustavuudella tarkoitetaan sähköjärjestelmän kykyä reagoida tuotannon ja kulutuksen vaihteluihin, eli säädettävää tuotantoa tai kulutusta (Aalto ym. 2012). Sähköverkossa joustossa on kyse erityisesti taajuuden ja tehon hallinnasta, joiden avulla ylläpidetään sähköverkon luotettavuutta (Lund ym. 2015). Sähköverkon tasapainon ylläpitäminen on myös edellytys uusiutuvan energiantuotannon lisäämiselle (Albadi & El-Saadany 2008). Samalla on mahdollisuus vähentää päästöjä, jos kulutusta voidaan ohjata hetkille, jolloin energiaa voidaan tuottaa vähemmällä hiilidioksidipäästöillä (Kopsakangas-Savolainen, Mattinen, Kanninen & Nissinen 2017).

Jouston tarpeen lisääntyminen ei johdu pelkästään tuuli- ja aurinkoenergian tuotannon lisääntymisestä. Sähköverkon tehotasapainoa on perinteisesti ylläpidetty säätövoimalla, eli fossiilista sähköntuotantoa on ohjattu kulutuksen mukaan (Verdolini, Vona & Popp 2018). Suomessa säätövoimana on useimmiten käytetty vesivoimaa sekä lauhdevoimaa, jota on poistumassa sähkömarkkinoilta. Uusiutuva sähköntuotanto ja ydinvoima syrjäyttävät vanhoja säädettäviä voimalaitoksia, jotka ovat tulleet elinkaarensa päähän (Aalto ym. 2012). Tuuli- ja lauhdevoimatuotannon kehitystä on havainnollistettu kuvassa 2.2, joka osoittaa, että tuulisähköntuotanto on ylittänyt lauhdevoiman tuotannon vuonna 2017. Kaikki perinteiset sähköntuotantomuodot eivät myöskään lisää joustoa, esimerkiksi ydinvoiman säätökyky on heikko. Ydinvoimalaitoksia ajetaan yleensä täydellä teholla ja tehon säätämistä vältetään taloudellisten tai teknisten syiden takia (Lund ym. 2015). Sähköjärjestelmästä on siis poistumassa säädettävää tuotantoa samaan aikaan kun järjestelmään tulee tilalle uutta joustamatonta tuotantoa, minkä vuoksi joustoa tarvitaan tulevaisuudessa lisää.

Tuulisähkötuotanto ja kapasiteetti



Lauhdetuotanto ja kapasiteetti



Kuva 2.2 Tuulisähkö- ja lauhdekapasiteetin ja tuotannon kehitys. Kuvaajissa on eri skaala ja seuranta vuodet vaihtelevat, mutta ne osoittavat tuotantomuotojen kehitystrendit. Vuonna 2017 tuulisähkötuotanto (4795 GWh) ylitti lauhdesähkötuotannon (3284 GWh) (Lähde: Energiategollisuus ry. 2018).

Joustoa voidaan lisätä monin tavoin. Sähköverkon joustavuutta voidaan ylläpitää rakentamalla uutta säädettävää tuotantoa, mutta se on kallista suhteessa muihin vaihtoehtoihin (Annala ym. 2016). Säädettävää tuotantoa kutsutaan myös marginaalituotannoksi, koska tuotanto käynnistetään vain silloin kun sähköjärjestelmässä on pulaa sähköntuotannossa. Uuden tuotannon rakentaminen ei kuitenkaan edistä ilmastotavoitteita, koska säädettävässä tuotannossa käytetään usein fossiilisia polttoaineita (Aalto ym. 2012).

Joustavan tuotannon rakentamisen sijaan sähkönkulutus voisi osallistua sähköjärjestelmän tasapainon hallintaan. Sähkönkulutusta on pidetty suhteellisen joustamattomana muuttujana sähköjärjestelmässä (Aalto ym. 2012). Jouston lisääminen erityisesti kulutuspuolelle mahdollistaisi sähköverkon sopeutumisen vaihtelevan tuotannon kasvuun (Paterakis ym. 2017). Hyödyntämättömien kulutuskohdeiden osallistuminen sähköverkon tasapainon hallintaan edellyttää uusien teknologioiden, kuten älyverkkojen käyttöönottoa. Älyverkot (*smart grid*) ovat sähköverkkoja, joissa sähköntuotanto ja -kulutus integroituvat tehokkaasti, taloudellisesti ja kestävästi (Phuangpornpitak & Tia 2013). Älyverkot mahdollistavat rajallisten resurssien tehokkaamman käytön kaksisuuntaisen tiedonsiirron avulla (Caputo ym. 2018).

Joustoa voidaan energiasäätelyyn lisätä kysyntäjoustolla, energiavarastoilla tai hajautetulla energiantuotannolla (Ma, Dalmacio Billanes, Kjærgaard & Jørgensen 2017). Tulevaisuudessa sähkönkausiavarastot ja akkuteknologia mahdollistavat energiavarastojen hyödyntämisen sähköverkon tasapainon ylläpitämisessä (Annala ym. 2016). Vaikka akkujen kehitys on nopeaa,

toistaiseksi teknologia on kustannuksiltaan liian kallis suuressa mittakaavassa hyödynnettäväksi (Aalto ym. 2012).

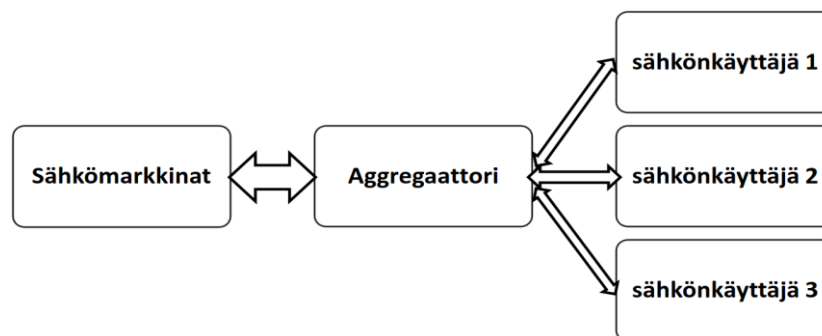
Kysyntäjousto on yksi energianhallinnan keino vaihtelevan tuotannon ja kysynnän tasapainottamiseen (Palensky & Dietrich 2011). Tähän mahdollisuuteen ovat nyt tarttumassa sähkökäyttäjien pioneerit, jotka haluavat kehittää toimintamalleja ja markkinoita kysyntäjoustoon osallistumiseksi sekä löytääkseen uusia keinoja toimia vastuullisempina sähkökäyttäjinä. Sähkökäyttäjistä on tulossa aktiivisia toimijoita, jotka sekä tuottavat itse sähköä, varastoivat ja myyvät sähköä sähkömarkkinoilla sekä osallistuvat sähköverkon tasapainon ylläpitämiseen (Aalto ym. 2012). Energiainvestointien myötä suurten sähkökäyttäjien rooli energiamarkkinoilla on murroksessa. Aktiiviset sähkökäyttäjät investoivat omaan energiantuotantoon, sähkövarastoihin ja kysyntäjoustoon, jolloin niiden rooli sähkömarkkinoilla kasvaa (Olkkonen, Korjonen-Kuusipuro & Grönberg 2017). Omilla investoinneillaan ja kehityshankkeillaan pioneerit tulevat osaksi energiamurrosta ja pystyvät vaikuttamaan muuttuviin palveluihin, markkinoihin ja lainsäädäntöön. Paljon energiaa käyttävien yritysten siirtyessä sähkömarkkinoille aktiivisina toimijoina ne luovat kysyntää uusille ratkaisuille ja toimintamalleille (Raven 2007).

2.2 Kysyntäjousto

Kysyntäjousto (*demand response*) määritellään energiankäytön muutoksena ulkoisen kannustimen vaikutuksesta. Laaja määritelmä kysyntäjoustolle kattaa kaikki sähkökäyttäjän toimet, jotka tähtäävät energiankulutuksen ajalliseen siirtämiseen. (Albadi & El-Saadany 2008) Kysyntäjousto on sähkön käyttötottumusten muuttamista, jonka tavoitteena on vähentää tai lisätä sähkönkulutusta sähköverkon tasapainottamiseksi (Siano 2014). Kysyntäjousto on yksi energianhallinnan keinoista ja sitä voidaan hyödyntää sekä sähkön- että lämmönkulutuksessa (Palensky & Dietrich 2011). Tässä tutkielmassa keskityn tutkimaan sähkön kysyntäjoustoa. Tästä eteenpäin kirjoittaessani kysyntäjoustosta viittaan vain sähkön kysyntäjoustoon. Kysyntäjoustosta puhuttaessa käytetään myös termiä kulutusjousto, erityisesti sähkökäyttäjille viestittäessä. Seuraavaksi esittelen ensin kysyntäjoustoa yleisesti eri toimijoiden näkökulmista ja sen jälkeen käsittelen kysyntäjouston roolia energiamurroksessa ja sähköjärjestelmässä. Lopussa teen katsauksen aiempaan kysyntäjoustotutkimukseen.

Kysyntäjouaston hyödyntäminen on mahdollista, koska tarvittava mittaus-, ohjaus- ja viestintäteknologia on kehittynyt (Siano 2014). Kysyntäjousto vaatii tarkkaa ja ajankohtaista tietoa sähkönkäyttäjien sähkönkulutuksesta. Älymittarit siirtävät sähkönkulutustietoa reaaliaikaisesti sähkönkuluttajan, yksittäisiä kysyntäjoustokohteita keräävän aggregaattorin ja sähkömarkkinoiden välillä (Paterakis ym. 2017). Automaatio sekä seuranta- ja ohjausjärjestelmät mahdollistavat sähkönkulutuksen nopean ja huomaamattoman ohjauksen (Siano 2014).

Kysyntäjoustoos osallistuu kolmenlaisia toimijoita; sähköverkon tasapainon ja markkinapaikkojen ylläpitämisestä vastaava kantaverkkoyhtiö, aggregaattori ja sähkönkäyttäjä (Medina, Muller & Roytelman 2010). Kuva 2.3 havainnollistaa toimijoiden välistä vuorovaikutusta ja tiedonsiirtoa. Aggregaattori on toimija sähkönkäyttäjien ja sähkömarkkinoiden välissä. Suuret sähkönkäyttäjät, kuten teollisuuslaitokset voivat osallistua sähkömarkkinoille ilman aggregaattoria, mutta pienet kulutuskohdet täytyy yhdistää suuremmaksi kokonaisuudeksi, jotta ne voivat osallistua sähkömarkkinoille.



Kuva 2.3 Esimerkkikuva kysyntäjoustoos osallistuvista toimijoista ja kaksisuuntaisesta tiedonsiirrosta toimijoiden välillä.

Kysyntäjouaston hyötyjä voidaan tarkastella niin järjestelmän kuin yksittäisen sähkönkäyttäjän tasolla. Aikaisemmin kysyntäjoustoos ovat voineet osallistua vain teolliset suuret sähkönkäyttäjät (Aalto ym. 2012; Torriti ym. 2010). Potentiaalisia kysyntäjoustoos osallistuvia uusia sähkönkäyttäjiä ovat kaupalliset yritykset, kotitaloudet, sähköautot ja datakeskukset (Albadi & El-Saadany 2008). Sähkönkäyttäjä voi säätää sähkönkulutustaan useilla eri tavoilla (Torriti ym. 2010). Käyttäjät voivat osallistua kysyntäjoustoos vähentämällä sähkönkulutustaan kulutuspiikkien aikaan, eli kun tuotanto ei riitä kattamaan kysyntää. Sähkönkulutusta voi laskea esimerkiksi alentamalla huoneiden lämpötilaa tai kääntämällä ilmastoinnin pois päältä. (Siano 2014) Tällöin seurauksena voi olla hetkellinen heikennys tilojen käyttömukavuudessa (Aalto ym. 2012). Toisaalta sähkönkulutusta voidaan säätää siirtämällä joitain toimintoja, kuten pyykinpesua tai saunanlämmitystä, pois

kulutushuipuilta (Albadi & El-Saadany 2008). Kolmanneksi kysyntäjoukseen voi osallistua hyödyntämällä omaa energiantuotantoa kuten aurinkosähköä. Hyödyntämällä omaa pientuotantoa sähkönkäyttäjältä ei vaadita aktiivisia toimia eikä joukseen osallistuminen aiheuta heikennyksiä käyttömukavuudessa. Sähköjärjestelmän tasolla vaikutus on kuitenkin sama kuin kahdessa edellisessä eli sähköverkon kuormitus laskee. (Albadi & El-Saadany 2008)

Sähkönkäyttäjä saa kysyntäjoukseen osallistumisesta rahallisen korvauksen sähkölaskussa tai sähkömarkkinoilta erillisenä korvauksena (Albadi & El-Saadany, 2008). Kysyntäjouksto voi tapahtua esimerkiksi energian hinnan suhteen, eli sähkönkäyttäjä ajoittaa sähkönkulutuksen sähkön hinnan mukaan. Kulutuksen ohjaaminen hinnan mukaan tuo säästöjä sähkölaskuun. Sähkön hintaa vasten tehtävä kysyntäjouksto kutsutaan implisiittiseksi kysyntäjoukstoksi (Pahkala ym. 2017). Toistaiseksi Suomessa sähköhinnoittelu ei kannusta ohjaamaan sähkönkulutusta hinnan suhteen, koska hinnanvaihtelut ovat suhteellisen pieniä. Sähkönhinnan vaihtelun lisäämisestä on kuitenkin käyty keskustelua, koska sen uskotaan lisäävän sähkönkuluttajien kiinnostusta kysyntäjoukseen (Honkapuro & Auvinen 2016; Annala ym. 2018a). Eksplisiittisessä kysyntäjoukstossa sähkönkäyttäjä osallistuu kysyntäjoukstopalveluun, jonka sopimuksessa määritellään kysyntäjoukston ehdot ja sähkömarkkinoilta saatavan korvauksen suuruus (Pahkala ym. 2017).

Aggregaattori välittää kysyntäjoukstopyyntöä sähkömarkkinoilta sähkönkäyttäjille ja ohjaa sähkönkäyttäjien sähkölaitteista kysyntäjoukston sähkömarkkinoille. Aggregaattori toteuttaa kulutuskohteiden kysyntäjoukston sähkönkäyttäjän puolesta sopimuksessa määritetyissä rajoissa (Siano 2014). Aggregaattorit ovat uusia toimijoita Suomen sähkömarkkinoilla, mikä näkyy muun muassa siinä, että niiden toimintaa koskevaa lainsäädäntöä vasta kehitetään (Pahkala ym. 2017). Aggregaattorit ovat joko niin sanottuja tasevastuullisia aggregaattoreita, esimerkiksi sähköyhtiöitä, tai itsenäisiä aggregaattoreita, joilla ei ole omaa tuotantoa tai kulutusta vaan ne ainoastaan ohjaavat sähkönkäyttäjien kulutuskuormia. Useista kohteista yhdistettävästä kysyntäjoukstosta voidaan muodostaa virtuaalinen voimalaitos. Virtuaalinen voimalaitos voidaan muodostaa yhdistämällä esimerkiksi pientuotantoa, energiavarastoja ja kysyntäjoukstokohteita suuremmaksi yksiköksi (Medina ym. 2010).

Kantaverkkoyhtiöille kysyntäjouksto tarjoaa uudenlaisia mahdollisuuksia sähköverkon tasapainon hallintaan (Aalto ym. 2012). Kantaverkkoyhtiö vastaa kulutuksen ja tuotannon tasapainottamisesta sähkömarkkinoilla. Sähkömarkkinoilla on seitsemän markkinapaikkaa, joilla on omat käyttötarpeensa sähköverkon tasapainon hallinnassa. Kysyntäjoukstokohteet voivat osallistua samoille markkinapaikoille kuin tuotantolaitokset. Samalla markkinapaikalla voi siis olla sekä säätövoimaa

tarjoavia tuotantolaitoksia, että kysyntäjoustokohteita. Markkinapaikat voidaan jakaa reservimarkkinoihin ja säätösähkömarkkinoihin. (Fingrid 2018a) Markkinapaikoilla on erilaiset käyttötarkoitukset, ansaintamahdollisuudet ja vaatimukset. Esimerkiksi minimitehot, jolla markkinoille voi päästä vaihtelevat 0,1-10 MW markkinapaikasta riippuen (Fingrid 2018a). Kysyntäjoustokohteet eroavat myös vasteajaltaan, eli kuinka nopeasti kohteiden on kyettävä toimittamaan joustoa sähköverkkoon. Suomessa kantaverkkoyhtiö sallii myös aggregoitavien kohteiden osallistumisen markkinoille, minkä katsotaan edistävän pienten kysyntäjoustoressurssien hyödyntämistä (Annala ym. 2018a). Taulukkoon 2.1 on koottu markkinapaikat, niiden tehtävät sekä markkinapaikan rajoitukset kysyntäjoustoos osallistumiselle.

Taulukko 2.1 Kantaverkkoyhtiön ylläpitämät kysyntäjouston markkinapaikat. Kysyntäjousto ja tuotantolaitokset osallistuvat samoille markkinoille (Lähteet: Fingrid 2018a; Aalto ym. 2012)

Kysyntäjouston markkinapaikat	Kuvaus	Minimi-kapasiteetti	Vaste-aika	Kysyntäjoustoä käytössä Suomessa
Taajuusohjattu Käyttöreservi (FCR-N)	Taajuuden vakautusreservit palauttavat sähköjärjestelmän taajuuden nopeasti hyväksyttävälle tasolle	0,1 MW	3 minuuttia	4 MW
Taajuusohjattu häiriöreservi (FCR-D)	Taajuuden vakautusreservi	1 MW	3 minuuttia	430 MW
Automaattinen taajuuden hallintareservi (aFRR)	Taajuuden palautusreservi palauttaa taajuuden hitaammin	5 MW	15 minuuttia	0 MW
Säätösähkömarkkina (mFRR)	Taajuuden palautusreservi	5 MW	15 minuuttia	yhteensä 100-300 MW
Säätökapasiteetti-markkinat (mFRR)	Taajuuden palautusreservi	5 MW	15 minuuttia	
Vuorokausi-markkina (Elsport)	Tuntimarkkinat	0,1 MW		200-600 MW
Päivän sisäinen markkina (Elbas)	Tuntimarkkinat	0,1 MW		0-200 MW
Tehoreservi	Ylläpitää sähkön toimitusvarmuus, kun sähköpörssin tarjonta ei riitä. Energiavirasto päättää reservin määrän ja kilpailuttaa laitokset	10 MW		22 MW

Kysyntäjousto ei ole energian säästämistä vaan sähkönkulutuksen siirtämistä. Käytännössä kysyntäjousto voi joissakin tapauksissa johtaa myös energiankulutuksen säästöihin (Aalto ym. 2012). Sähköjärjestelmän tasolla kysyntäjousto laskee sähkön hintaa, sähköverkon luotettavuus paranee ja sähköjärjestelmän toiminta tehostuu (Albadi & El-Saadany 2008). Kysynnän jousto vähentää tarvetta erillisten säätövoimalaitosten käynnistämiseksi ja rakentamiselle (Palensky & Dietrich 2011).

Kysyntäjouaston ympäristövaikutuksia on vaikea arvioida, mikä tulee esiin asiantuntijoiden ristiriitaisissa näkemyksissä. Joidenkin näkemysten mukaan, että kysyntäjoustolla ei juuri ole vaikutuksia päästöihin (Aalto ym. 2012). Toisaalta on esitetty, että kysyntäjoustolla voidaan vähentää päästöjä, jos kulutusta ohjataan niihin ajankohtiin, kun tuotanto voidaan kattaa uusiutuvilla energianlähteillä (Kopsakangas-Savolainen ym. 2017). Kopsakangas-Savolainen kollegoineen (2017) tutkivat sähkönkulutuksen tuntikohtaisia päästöjä ja havaitsivat, että energian kulutuksen ohjaamisella voitiin vähentää hiilidioksidipäästöjä 3-8% kulutuskohteesta riippuen. Toisessa tutkimuksessa on todettu, että jos sähkönkulutusta voidaan ohjata niin, että säädettäviä sähköntuotantolaitoksia ei tarvitse käynnistää, hiilidioksidipäästöt vähenevät 620-700 g CO₂/kWh kohden (Holtinen & Tuhkanen 2004). Sähköntuotantomuotojen eroja hiilidioksidipäästöjen osalta voidaan tarkastella myös keskimääräisten päästökertoimien avulla. Sähköntuotannon keskimääräinen päästökerroin vuonna 2016 oli 164 kg CO₂/MWh (Motiva 2018), kun taas marginaalisähköntuotannon keskimääräinen päästökerroin on 600 kg CO₂/MWh (Motiva 2012). Marginaalituotanto on usein fossiililla polttoaineilla tuotettua säätövoimaa, esimerkiksi hiililauhdetuotanto on ollut perinteisesti marginaalituotantoa, mikä selittää suuren päästökertoimen (Motiva 2012). Sähkönkulutuksen ohjaaminen vähentää siis sähköntuotannon päästöjä, kun sillä vältetään marginaalituotannon käynnistäminen.

Sähköjärjestelmän tasolla kysyntäjousto mahdollistaa uusiutuvan sähköntuotannon lisäämisen ilman että sähköjärjestelmän luotettavuus heikkenee (Albadi & El-Saadany 2008). Älykkäällä energiankulutuksella voidaan vähentää fossiilisen säätövoiman tarvetta ja siten myös hillitä hiilidioksidipäästöjä (Kopsakangas-Savolainen ym. 2017). Siten se edistää ilmastotavoitteiden saavuttamista ja ilmastomuutoksen hillitsemistä (Torriti ym. 2010; Annalla ym. 2018a). Taulukossa 2.2 on tiivistettynä kysyntäjouaston hyödyt sähkönkäyttäjän, järjestelmän ja ympäristön kannalta. Kysyntäjoustoön liitettyjen monien myönteisten ominaisuuksien vuoksi siitä on tullut kiinnostava vaihtoehto muiden ratkaisujen rinnalle.

Taulukko 2.2 Kysyntäjoustop hyödyt. Muokattu ja käännetty artikkelista Albadi & El-Saadany (2008)

Kysyntäjoustop hyödyt	
Sähk6nkäyttäjälle	<ul style="list-style-type: none"> • Hintakannustimet • Pienempi sähk6lasku
Sähk6järjestelmälle	<ul style="list-style-type: none"> • Alemmat hinnat • Kapasiteetti kasvaa • Välttään uuden tuotannon rakentamiselta • Luotettavuus paranee <ul style="list-style-type: none"> ◦ Vähemmän häiriöitä ◦ Kuluttajien osallisuus ◦ Monimuotoisempi sähk6ntuotanto
Ympäristön kannalta	<ul style="list-style-type: none"> • Mahdollistaa sääriippuvaisen sähk6ntuotannon lisäämisen • Vähentää päästöjä, mikäli sähk6nkulutusta optimoidaan sähk6ntuotantomuotojen mukaan

Kysyntäjoustopon liittyvä tutkimus on myös lisääntynyt merkittävästi koko 2000-luvun (Shariatzadeh, Mandal & Srivastava 2015). Aikaisempi tutkimus on teknologian ohella käsitellyt kysyntäjoustopon käsittelyä yleisesti ja antanut suosituksia kysyntäjoustopon käyttöönottoon jollakin alueella tai tietynlaisessa kohteessa (Paterakis ym. 2017). Pohjois-Amerikassa kysyntäjoustopomarkkinat ovat edistyksellisisimmät, kun taas Euroopassa kysyntäjoustopomarkkinat ovat vasta kehittymässä. Euroopassa huomio on pitkään ollut energiatehokkuudessa, mutta viime vuosina kysyntäjoustopo on noussut poliittiselle agendalle (Annala ym. 2018a). Euroopassa pisimmällä on Iso-Britannia, jossa sähk6verkkoyhtiöt ovat kehittäneet palveluja kysyntäjoustopon mahdollistamiseksi, mutta myös Suomi, Hollanti, Itävalta, Irlanti, Ranska ja Saksa ovat kehittämässä sääntelyä kysyntäjoustopon edistämiseksi (Paterakis ym. 2017). Älykkäiden sähk6nkulutusmittareiden yleisyys sekä kysyntäjoustopon aggregoimisen hyväksyminen sähk6markkinoilla antavat Suomelle hyvät edellytykset olla kysyntäjoustopon edelläkävijä Euroopassa (Annala ym. 2018a). Eurooppalaisessa vertailuissa Suomen todetaan ottaneen monia askeleita kysyntäjoustopon lisäämiseksi, mutta kysyntäjoustopoon osallistuvia kulutuskohteita markkinoilla on toistaiseksi melko vähän (SECD 2017).

Suomessa kysyntäjoustoa on lähdetty edistämään lähinnä sähköjärjestelmän toimijoiden ja eri tahojen kanssa yhteistyössä. Työ- ja elinkeinoministeriö on todennut, että kysyntäjoustoa tulisi edistää markkinoiden tarpeiden mukaan poistamalla esteitä markkinoille osallistumisesta ja ilman yksityiskohtaista sääntelyä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2015). Aiheesta on keskusteltu aktiivisesti hallinnon eri tasoilla ja asiantuntijaverkostoissa. Työ- ja elinkeinoministeriö on perustanut Älyverkkotyöryhmän rakentamaan yhteistä näkemystä älykkäästä sähköverkosta ja esittämään ratkaisuja älyverkkopalveluiden edistämiseksi (Pahkala ym. 2017).

Sähköjärjestelmä muodostuu monimutkaisesta teknologisista, institutionaalisista ja taloudellisista vuorovaikutussuhteista, jotka voivat joko estää tai edistää kysyntäjoustop käytöönottoa (Verzijlbergh ym. 2017). Kysyntäjoustop esteinä eurooppalaisessa tutkimuksessa havaittiin kuluttajien haluttomuus muuttaa sähkönkäyttötottumuksiaan (O'Connell, Pinson, Madsen & O'Malley 2014c). Asiakkaiden kiinnostuksen herättäminen kysyntäjoustoa kohtaan nähdään haasteellisena (Paterakis ym. 2017). Suomen sähkömarkkinoilla taas esteenä nähtiin rakennuksiin asennetun sähköteknologian ja automaation riittämättömyys sekä suurena epävarmuustekijänä palveluiden puuttuminen (Annala ym. 2018a). Järventausta ja kollegat (2015) kiteyttivät, että kysyntäjoustop keskeiset haasteet ovat poliittisia ja taloudellisia eli kysyntäjousto edellyttää taloudellisia kannustimia sekä uuden toimintamallin mahdollistavaa sääntelyä.

Yhdeksi esteeksi on tunnistettu kokemuksen puute, minkä vuoksi joudutaan usein turvautumaan oletuksiin ja mallinnuksiin. Kysyntäjoustop yleistyminen edellyttää siis vielä käytännön osaamista teknologian soveltamisessa, palveluiden tuottamisessa ja sähkömarkkinoiden sääntelyssä (O'Connell ym. 2014c). Muutoksien tekeminen sääntelyyn ja toimintamalleihin on haasteellista pelkkien teoreettisten laskelmien pohjalta ja siksi tarvitaan käytännön kokemuksia ja pilottihankkeita.

Sähkönkäyttäjien lisääntynyt kiinnostus tuotannon ympäristövaikutuksista ja toisaalta energian pientuotannon hintojen alentuminen ovat saaneet monet paljon energiaa kuluttavat yritykset kiinnostumaan energianhallinta keinoista (Torriti ym. 2010). Markkinoille avautuu uusia mahdollisuuksia energiapalveluiden tarjoajille. Älyverkot luovat uusia mahdollisuuksia energianhallintaan monille sähkönkäyttäjille, kuten liiketilojen omistajille ja kotitalouksille (Palensky & Dietrich 2011). Kysyntäjoustoa on kuitenkin tutkittu käytännön olosuhteissa vasta vähän, erityisesti päivittäistavarakaupoissa, joissa arvellaan kuitenkin olevan merkittävää potentiaalia sähkön kysyntäjoustopille (O'Connell, Madsen, Pinson & O'Malley 2014a). Toisaalta kiinteistön käyttötarkoitus asettaa myös rajoituksia kysyntäjoustop osallistumiselle ja rajoitteiden tunnistaminen on tärkeää, ettei sähkönkäyttäjälle aiheudu haittaa sähkönkulutuksen säätämisestä.

Liiketoimissa on usein jo käytössä automaattisia kiinteistöautomaatiojärjestelmiä, joita voitaisiin mahdollisesti hyödyntää myös kysyntäjoustossa (Järventausta ym. 2015).

Kysyntäjoustolla tunnistetaan olevan monia hyötyjä sähköjärjestelmälle, mutta sen käyttöönottoon liittyy myös esteitä ja epävarmuuksia, joihin etsitään ratkaisuja kokeilemalla teknologiaa ja toimintamalleja käytännön olosuhteissa. Suomessa on viime vuosina ollut useita kysyntäjoustoon liittyviä pilotteja ja kehityshankkeita (SEDC 2017 s. 72-80; Annala ym. 2018b). Kokeiluilla voidaan vastata ilmastonmuutoksen kaltaisten kompleksisten ongelmien ratkaisuun (Kivimaa ym. 2017). Niiden avulla voidaan ohjata energiamurrosta luomalla polkuja uusille kestäville innovaatioille (Kemp ym. 1998). Valtiot, kaupungit, yritykset ja yhteisöt kehittävät uusia ratkaisuja pilottihankkeiden ja kokeilujen avulla (Heiskanen & Matschoss 2016). Ei-teollisten sähkönkäyttäjien ja pioneeritoimijoiden merkitystä kysyntäjouston pilotoinnissa ja käyttöönotossa on tutkittu varsin vähän. Vaikka energia ei kuulukaan suurten kaupan alan sähkönkäyttäjien ydintoimintaan, ne pyrkivät aktiivisesti ottamaan kantaa myös sähköjärjestelmässä tapahtuviin muutoksiin (S-Ryhmä 2017). Suuret sähkönkäyttäjät eivät välttämättä tietoisesti tavoittele energiamurrosta. Investointien ja kokeilujen kautta yritykset kuitenkin muokkaavat nykyistä järjestelmää ja tulevat osaksi energiamurrosta (Loorbach, Van Bakel, Whiteman, & Rotmans 2010). Energiamurroksen tutkimisen kannalta näiden toimijoiden roolin hahmottaminen voi avata uusia näkökulmia murroksen edistämiseen. Kokeilujen systemaattisen analysoinnin tarve on tunnistettu aiemmassa kirjallisuudessa minkä vuoksi ne ovat mielekäs tutkimuskohde myös pro gradu –tutkielmalle (Kivimaa ym. 2017; Heiskanen & Matschoss 2016). Sen vuoksi lähestyn kysyntäjoustoa tapaustutkimuksen kautta. Olen valinnut tutkimuskohteeksi Virtuaalinen palveluympäristö –kokeilun, missä kysyntäjoustoa kokeiltiin päivittäistavarakaupoissa. Kokeilun tarkempi kuvaus on luvussa 4.2. Seuraavassa luvussa esittelen tutkielmani teoreettisen viitekehyksen jossa kuvaan, miten kokeilut ja pilotit liittyvät teknologiamurrosten tutkimiseen.

3. Teoreettinen viitekehys

Teoreettinen viitekehys liittyy tutkielmani tutkimusasetelman kestävyysmurroksen ja erityisesti innovaatiopolkujen strategisen hallinnan teoreettiseen kehykseen ja käsitteisiin. Kysyntäjoustopäähän edistävän siirtymistä kestäväan sähköjärjestelmään (Albadi & El-Saadany 2008; Torriti ym. 2010). Tästä huolimatta kysyntäjoustopäähän on hyödynnetty vielä marginaalisesti. Tässä luvussa tarkastelen, miten innovaatiopolkujen strateginen hallinta teorian mukaan kokeilut edistävät sosiaalisesti toivottavien innovaatioiden, kuten kysyntäjoustopäähän käyttöönottoa. Teoria muodostaa kehyksen kysyntäjoustopäähän kokeilun tavoitteiden, oppimisen ja skaalautumisen tutkimiselle. Tutkielman teorioiden ja käsitteiden käänöksissä olen käyttänyt Bernigerin ja muiden (2017) teoksessa esitettyjä käänöksiä. Luvussa esittelen ensin tutkielman kannalta oleellisen teoreettisen viitekehyksen, minkä jälkeen pohdin viitekehyksen valintaa ja rajoitteita tämän tutkielman näkökulmasta. Luvun lopussa kertaan tutkimuskysymykset.

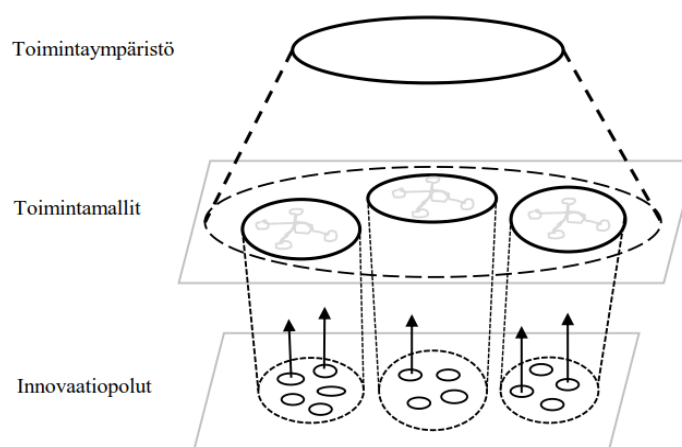
3.1 Kestävyysmurros

Energiamurroksen tutkimus on osa laajempaa kestävyysmurroksen tutkimuskenttää. Kestävyysmurroksen tutkimus on saanut uutta nostetta kestävyystieteestä, joka pyrkii ohjaamaan järjestelmän muutosta yhteiskunnallisesti, taloudellisesti ja ympäristön kannalta kohti kestäväan kehityksen tavoitteita (Berninger ym. 2017). Tästä näkökulmasta murros kestäväan energijärjestelmään edellyttää systeemisii muutoksia, joissa yhteiskunnan järjestelmiin liittyvät käytännöt ja tekniset rakenteet muuttuvat olennaisesti erityisesti ympäristövaikutuksiltaan (Raven 2007). Systeemisii muutoksia tutkimalla on yritetty löytää yleisii selitysmalleja ja prosesseja, jotka selittävät järjestelmissä tapahtuvia murroksia: miksi jotkin teknologiat tai palvelut ovat murroksellisia ja toiset eivät (Kemp ym. 1998). Systeemisen murroksen teorian pohjaavat aikaisempien teknologiamurrosten empiiriseen analyysiin (Raven ym. 2010).

Energiamurrosta tutkiaa laajasti yhteiskunnallisena, teknillisenä ja taloudellisenä muutoksena (Grubler 2012). Yhteiskunnallisia rakenteita voidaan tarkastella sosioteknisinä järjestelminä (*socio-technical system*), jossa yhdistyvät innovaatioiden tuotanto, leviäminen ja teknologian käyttö (Geels

2004). Geelsin (2004) mukaan sosiotekninen järjestelmä on rakentunut sellaiseksi kuin se on, koska se palvelee yhteiskunnallisia tarpeita. Käsite sosiotekninen järjestelmä korostaa teknologian merkittävää roolia yhteiskunnan toiminnassa. Esimerkkejä sosioteknisistä järjestelmistä ovat energiajärjestelmä, liikennejärjestelmä tai viestintäjärjestelmä (Berninger ym. 2017). Ne eivät kehity autonomisesti vaan yhteiskunnallisten toimijoiden toiminnan kautta. Sosiotekninen järjestelmä käsittää monimuotoiset vuorovaikutussuhteet, joita teknologisen järjestelmän ja yhteiskunnan välillä vallitsee (Geels 2004). Murroksessa sosiaaliset ja teknologiset muutokset linkittyvät toisiinsa.

Systeemistä muutosta voidaan hahmottaa monitasomallin avulla (*multi-level perspective*), joka jäsentää systeemin ja sen eri tasojen muutosta pitkällä aikavälillä (Geels 2004). Malli jakaa systeemin kolmelle tasolle; ylin taso on laaja toimintaympäristö (*landscape*), jossa suuret globaalit kehitykset näkyvät ja vaikuttavat. Kansainvälisen laajan toimintaympäristön ilmiöitä ovat esimerkiksi talouskehitys ja ilmastonmuutos (Geels 2002). Keskitaso muodostuu sosioteknisen systeemin hallitsevista toimintamalleista (*regimes*). Toimintamallit ovat kokonaisuuksia, jotka koostuvat esimerkiksi teknologisista, hallinnollista ja kulttuurisista toimintamalleista (Geels 2004). Hallitsevat toimintamallit ovat luonteeltaan stabiileja ja niiden muuttaminen on jähmeää, koska sääntely, osaaminen, tekniset järjestelmät sekä niihin liittyvät intressit ylläpitävät järjestelmän vakautta. Alin taso koostuu innovaatiopoluista (*niches*), jotka tuottavat uusia ratkaisuja järjestelmään. Innovaatiopolut ovat suojattuja ympäristöjä, jotka mahdollistavat innovaatioiden kehittämisen ilman markkinoiden painetta. Monitasomalli kuvaa systeemin muutoksia eri tasoilla ja tuo esille tasojen sisäiset ja väliset vuorovaikutussuhteet. (Geels 2004). Sosioteknisessä järjestelmässä murrokset eivät kuitenkaan aina etene suoraviivaisesti vaan niihin vaikuttavat tasojen väliset jännitteet ja vuorovaikutussuhteet (Verbong & Geels 2010).



Kuva 3.1 Monitoimimallissa systeemistä murrosta hahmotetaan kolmen, keskinäisessä vuorovaikutuksessa olevan tason avulla (Käännetty ja muokattu Geels 2002).

Energiamurros etenee myös maantieteellisesti epätasaisesti. Siinä missä edelläkävijämaat ovat jo edenneet uusien energiaratkaisujen implementoinnissa pidemmälle, toisaalla uudet teknologiat ovat vasta kehittymässä. Energiamurroksessa voidaan havaita kaksi eri vaihetta. Edelläkävijä maat ovat jo edenneet murroksen toiseen vaiheeseen, jossa korostuvat uudet ilmiöt, kuten eri teknologioiden ja sektoreiden välinen vuorovaikutus, liiketoimintamallien ja teknologioiden muutos (Markard 2018). Kysyntäjousto voidaan nähdä esimerkkinä täydentävästä teknologiasta, jossa yhdistyvät energiateknologiat sekä tieto- ja viestintäteknologiset ratkaisut (Berninger 2017).

3.2 Systemiset innovaatiot

Sosiotekniset järjestelmät kehittyvät innovaatioiden eli uusien ratkaisujen avulla (Raven 2007). Elzen, Geels ja Green (2004) määrittelevät innovaation yhdistelmäksi elementtejä, jotka linkittyvät toisiinsa toimivaksi kokonaisuudeksi. Innovaatiot voivat olla nykyisten toimintamallien ja tuotteiden vähittäistä kehittämistä tai ne voivat erota radikaalisti hallitsevasta toimintamallista (Kemp ym. 1998). Radikaaleja muutoksia aiheuttavia keksintöjä kutsutaan systemisiksi innovaatioiksi (Berninger ym. 2017). Systemiset innovaatiot eivät yleensä sovi yhteen vallitsevan systeemin rakenteiden kanssa, koska ne poikkeavat merkittävästi vallitsevista toimintamalleista. Innovaatioiden käyttöönotto edellyttää usein muutosta monilla eri osa-alueilla, kuten teknologiassa, organisaatioissa, infrastruktuurissa (Kemp ym. 1998). Systeminen innovaatio voi olla useita teknologioita, palveluita tai markkinoita yhdistävä ratkaisu. Kysyntäjousto on esimerkki systemisestä innovaatiosta, joka yhdistää sähköjärjestelmän sekä tieto- ja viestintäteknologian ratkaisuja (Berninger ym. 2017). Kolmas systemisen innovaation määritelmä on teknologia tai palvelu, joka täyttää jonkin yhteiskunnallisen tarpeen. Systemisillä innovaatioilla voidaan viitata myös teknologioihin, jotka vähentävät järjestelmien negatiivisia vaikutuksia (Raven ym. 2010). Niiden on kuitenkin vaikea kilpailla olemassa olevan toimintamallin kanssa, vaikka ne edistäisivät yhteiskunnallisesti toivottavia tavoitteita, kuten ilmastonmuutoksen torjuntaa (Schot & Geels 2008). Vallitsevan systeemin muuttaminen on jähmeää. Innovaatioiden leviämisen esteet kytkeytyvät toisiinsa ja ylläpitävät vallitsevaa järjestelmää (Kemp ym. 1998). Kestävää kehitystä edistävien innovaatioiden leviämisen esteet hidastavat kestävyysmurrosta.

Uusien innovaatioiden leviämisen esteitä selitetään polkuriippuvuudella. Vallitseva toimintaympäristö rajoittaa valintamahdollisuuksia tulevaisuudessa (Lovio, Mickwitz & Heiskanen 2011).

Aikaisemmin tehdyt päätökset esimerkiksi teknologian tai lainsäädännön suhteen rajoittavat tulevaisuuden valintamahdollisuuksia. Toimintaympäristö koostuu vakiintuneesta infrastruktuurista, organisaatioista, säädöksistä ja toimintamalleista (Verbong & Geels 2010). Esimerkiksi, sähkön tuotannossa on pitkään pyritty suuriin tuotantolaitoksiin kulutuksen kasvun ja mittakaavaetujen takia (Raven 2007). Uudet teknologiat kohtaavat taloudellisia esteitä, esimerkiksi ne eivät pysty hinnoillaan kilpailemaan samoilla markkinoilla vakiintuneiden teknologioiden kanssa (Kemp ym. 1998). Jos uudet teknologiat eivät kiinnosta markkinoilla toimivia vakiintuneita yrityksiä tai kuluttajat eivät niitä osaa käyttää, niiden pääsy markkinoille vaikeutuu tai pysähtyy kokonaan (Geels 2018). Ratkaisut, jotka sopeutuvat nykyiseen järjestelmään tai tehostavat sen toimintaa, välttävät suurimmat esteet. Systemisten innovaatioiden integroiminen osaksi vakiintunutta toimintaympäristöä on vaikeampaa. Sopeutuakseen vallitsevaan järjestelmään ne tarvitsevat uutta teknologiaa, palveluja, infrastruktuuria ja yhteiskunnan hyväksyntää (Kemp ym. 1998).

Kemp kollegoineen (1998) jaottelee innovaatioiden leviämisen esteet sosioteknisen järjestelmän osaluokkien mukaan teknologisiin, hallinnollisiin, kulttuurisiin ja psykologisiin, käyttäjiin, tuotantoon sekä ylläpitoon ja huoltoon liittyviin tekijöihin, jotka rajoittavat toimintamallien muutosta. Uudella innovaatiolla voi olla myös yhteiskunnan tai ympäristön kannalta negatiivisia vaikutuksia, minkä takia ne eivät yleisty. 1990-luvulla tutkijat kehittivät teorioita sosiaalisesti toivottavan yhteiskunnallisen muutoksen aikaan saamiseksi (Sengers, Wiczorek & Raven 2016). Uusien innovaatioiden kehityspolkujen havaittiin olevan monimutkaisia ja epälineaarisia (Raven ym. 2010). Aiempia teknologisia murroksia analysoimalla on havaittu, että tärkeitä prosesseja murroksessa ovat olleet uusien innovaatioiden kehittäjät ja toisaalta ympäristö, jossa teknologioita on voitu soveltaa ja parannella (Kemp ym. 1998). Hekkert ja kollegat (2007) tunnistavat seuraavat toiminnot oleelliseksi innovaation kehityksessä; kokeileva toiminta, tiedon tuottaminen, tiedon vaihto, ohjattu tutkiminen, markkinoiden muodostuminen, resurssien mobilisointi ja vallitsevan järjestelmän pysyvyyden horjuttaminen.

3.3 Innovaatiopolkujen strateginen hallinta

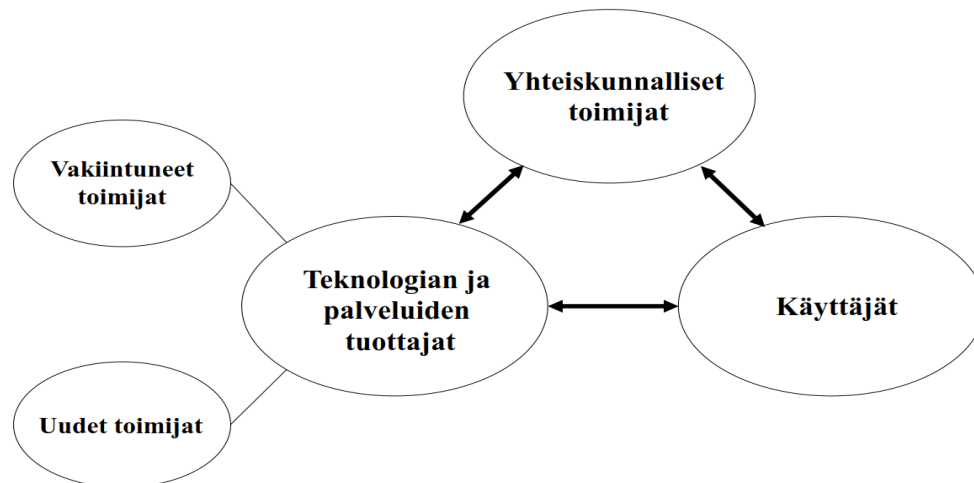
Kemp ja kollegat (1998) esittelevät innovaatiopolkujen strategisen hallinnan teorian työkaluna kestävyysmurroksen edistämiseksi. Teorian pohjalta on tehty suosituksia siitä, miten energiajärjestelmän kehitystä voidaan strategisesti ohjata innovaatiopolkujen avulla (Schot & Geels 2008). Innovaatiopolut mahdollistavat tuotekehittelyn suojatuissa oloissa, jossa innovaation ei tarvitse kilpailla jo markkinoilla olevien vakiintuneiden ratkaisujen kanssa (Kemp ym. 1998). Innovaatiopolku on alusta uuden teknologian kehittämiseksi, mutta sillä voidaan viitata myös kokeiluun tai innovaatioon (Berninger ym. 2017 s.35).

Innovaatiopolun tukemisella voidaan tarkoittaa valtion taloudellista tukea tai ympäristöä, jossa ei ole tavanomaisen markkinaympäristön olosuhteita. Esimerkki suojaamisesta (*shielding*) on 1970-luvulla alkaneet kansainväliset kehityshankkeet aurinkopaneelien käyttöönottoon sähköverkon ulkopuolelle jäävillä alueilla. Innovaatiopolkua voidaan tukea myös kehittämällä (*nurturing*) teknologian omaisuuksia tai muuttamalla toimintaympäristöä teknologialle suotuisammaksi (*empowerment*). (Smith & Raven 2012) Uusi teknologia on kallista ja vaatii erityisosaamista, minkä vuoksi sen on vaikea kilpailla jo markkinoilla olevien energiaratkaisujen kanssa (Schot & Geels 2008). Innovaatiot saattavat vaatia uutta infrastruktuuria tai toisaalta tehdä kalliin jo olemassa olevan infrastruktuurin hyödyttömäksi, mikä myös vähentää uuden teknologian houkuttelevuutta. Siksi innovaatiopolkujen strateginen hallinta pyrkii luomaan suojattuja ympäristöjä sekä tukemaan kehityspolkuja teknologian soveltamiselle (Kemp ym. 1998).

Innovaatiopolut eivät ole pelkästään teknologian testialustoja vaan ne mahdollistavat uusien innovaatioiden merkityksen rakentamisen suhteessa suurempiin yhteiskunnallisiin kysymyksiin, kuten kestävään kehitykseen (Schot & Geels 2008). Kestävien innovaatioiden leviämistä hidastaa se, että usein uuden teknologian hyödyt ovat näkyvämpiä yhteiskunnallisella tasolla kuin yksittäisen käyttäjän kohdalla (Raven 2007). Energiajärjestelmän murroksessa syntyvät teknologiat ovat juuri tällaisia. Varhaiset omaksijat ovat yleensä valmiita sietämään suuria kustannuksia, koska he kokevat saavansa muita etuja teknologian käytöstä (Berninger ym. 2017).

Sosioteknisen järjestelmän muutoksessa tärkeitä toimijoita ovat yhteiskunnalliset toimijat, teknologian ja palveluiden tuottajat sekä käyttäjät (Elzen, Geels & Green 2004 s. 226). Käyttäjät ovat aktiivisia toimijoita valintaympäristössä ja siten muokkaavat sosioteknistä järjestelmää valinnoillaan, joita kuitenkin rajoittavat vakiintuneet instituutiot ja toimintamallit. Innovaatiopolut pyrkivät

muokkaamaan vallitsevaa toimintaympäristöä ja siten osallistuvat kestävyysmurrokseen myös asenteita ja visioita muokkaamalla (Kemp ym. 1998). Teknologian ja palveluiden toimittajat voidaan jakaa vakiintuneisiin ja innovaatiopolkujen uusiin toimijoihin. Järjestelmässä vakiintuneet toimijat pyrkivät säilyttämään asemansa joko vastustamalla muutosta tai osallistumalla uuden toimialan kehitykseen, kun taas uudet toimijat pyrkivät vauhdittamaan murrosta systemaattisilla innovaatioilla (Apajalahti, Temmes & Lempiälä 2018). Toimijaryhmät voivat osallistua kestävyysmurrokseen kokeilujen ja pilottihankkeiden avulla.



Kuva 3.2 Avaintoimijat kestävänn innovaation käyttöönotossa. Muokattu ja käännetty Elzen, Geels & Green (2004) alkuperäisestä kuvasta.

Innovaatiopolut eivät synny spontaaneina ilmiöinä vaan niitä voidaan aktiivisesti luoda. Innovaatiopolkujen luominen ja ylläpitäminen vaativat aikaa, resursseja ja eri toimijoiden yhteistyötä (Kemp ym. 1998). Hallitukset voivat tukea innovaatioiden kehitystä, tai niitä voidaan toteuttaa innovaatioiden edistäjien, käyttäjien ja yritysten yhteistyönä (Schot & Geels 2008). Innovaatiopolut voidaan valjastaa palvelemaan strategista tuotekehitystä, jolla uskotaan olevan merkittävää taloudellista hyötyä tai lisäävän hyvinvointia (Kemp ym. 1998). Tässä tutkielmassa tarkastelemani Virtuaalinen palveluympäristö –kokeilu on yritysten ja tutkimusorganisaatioiden yhteistyössä kehittämä hanke, jossa toimijat yrittivät kehittää kysyntäjoustoa osaksi omaa liiketoimintaansa.

Innovaatiopolkujen strateginen hallinta korostaa, että käytännön kokeiluilla voidaan sovittaa yhteen niin teknologian ominaisuudet kuin kuluttajien vaatimukset (Schot & Geels 2008). Tieteellisessä kirjallisuudessa kokeiluja on monenlaisia ja niiden määritelmät tieteenaloitain vaihtelevat (Sengers ym. 2016). Kokeiluilla voidaan vastata ilmastonmuutoksen kaltaisiin kompleksisiin haasteisiin (Kivimaa ym. 2017). Schot ja Geels (2008) toteavat, että modernin teknologian kehityksen isoimpia

ongelmia on, että tuotekehittelyyn osallistuva joukko on tarkasti rajattu. Innovaatioiden kehityksessä prosessin ulkopuolelle jää toimijoita, joilla voisi olla annettavaa erityisesti teknologian ulkopuolella olevien vaatimusten tarkastelussa. Tämä on erityisen merkityksellistä sellaisten innovaatioiden kohdalla, jotka syntyvät kahden liiketoiminnan yhdistyessä. Innovaatiopolkujen strategisessa kehittämisessä kokeilut ovat ensimmäinen askel uusien teknologioiden tai konseptien soveltamisessa käytännönläheisissä olosuhteissa. Innovaatiopolku on jatkumo innovaation ensimmäisestä käyttöönotosta aina siihen asti, kun teknologia on vakiintunut niin, että se pärjää valintaympäristössä (Smith & Raven 2012). Innovaatiokokeiluilla pyritään vastaamaan todellisiin yhteiskunnallisiin haasteisiin ja ne saattavat johtaa merkittäviin teknologisiin murroksiin (Sørensen, Mattsson & Sundbo 2010).

Kysyntäjousto on kehittymässä kahden vallitsevan toimintaympäristön, tieto- ja viestintäteknologia sekä energiajärjestelmän välimaastossa (Berninger ym. 2017, s.33). Käytännön kokemus kysyntäjouston soveltamisesta ja teknologian käyttöönotto on vielä varsin uutta ja suppean asiantuntijajoukon piirissä. Vasta ensimmäiset käyttäjät ovat aloittaneet kokeiluja teknologian ja markkinoiden testaamiseksi. Kokeiluja tarvitaan, jotta teoreettiset laskelmat johtavat oppimiseen, mikä puolestaan edistää kestävien ratkaisujen käyttöönottoa. Polkujen rakentaminen ja niiden vahvistaminen tapahtuvat verkostoissa, joista uusi toimiala muodostuu. Kokeiluissa keskeisessä roolissa ovat vakiintuneen toimijaverkoston ulkopuolelta tulevat yritykset, jotka luovat uusia teknologioita ja palveluita. (Sengers ym. 2016) Kokeilemalla yritykset voivat kehittää innovaatioita, verkostoitua, vahvistaa luottamusta ja markkinoita. Polkujen rakentaminen on yrityksen näkökulmasta pitkäaikainen prosessi. Yrityksillä on myös usein paljon osaamista omalta alaltaan, joten ne ovat ihanteellisessa asemassa kokeilujen aloittamisessa (Kemp ym.1998).

Innovaatiopolkujen strategisen hallinnan kirjallisuudessa on korostettu kokeilun sisäisten prosessien merkitystä systeemisten innovaatioiden kehittämisessä (Sengers ym. 2016). Kokeilut mielletään onnistuneiksi, mikäli innovaatio kehittyy rajatusta kokeilusta osaksi vallitsevaa toimintamallia (Schot & Geels 2008) Onnistuneiden kokeilujen taustalla on havaittu olevan kolme sisäistä prosessia: tavoitteiden ja visioiden artikulointi, verkostojen rakentaminen ja oppiminen (Kemp ym. 1998).

Kemp ym. (1998) mukaan uuteen teknologiaan liittyvät odotukset ja visiot ovat tärkeitä. Visiot ja mielikuvat kehittyvät jatkuvasti ja ne voivat joko edistää tai estää teknologioita skaalautumasta. Siksi tavoitteiden kirkastaminen ja jakaminen ovat innovaatiopolkujen keskeinen prosessi. Odotukset ja visiot motivoivat toimijoita osallistumaan kokeiluihin ja ohjaavat kokeilun etenemistä (Raven ym. 2010). Tavoitteiden ja odotusten jakaminen ja kirkastaminen edistävät yhteisen tavoitekuvan

muodostumista kokeilun toimijoiden välillä. Odotusten tukeminen tutkimustiedolla tarkentaa tavoitteita sekä oikeuttaa innovaation suojaamisen ja kehittämisen. (Schot & Geels 2008)

Oppimisella voidaan ratkoa teknologian käyttöönottoon liittyviä esteitä. Oppiminen mahdollistaa teknologian integroimisen sosiotekniseen järjestelmään (Kemp ym. 1998). Laaja oppiminen sisältää datan keräämistä, mittaamista, mutta myös teknisten ja sosiaalisten odotusten sopeuttamista. Onnistuneissa kokeiluissa oppiminen on myös reflektiivistä: jos teknologia ei toimi odotetulla tavalla, odotuksia ja kokeilun kehystä voidaan muokata kokeilun edetessä. (Schot & Geels 2008) Usein kokeiluissa oppiminen rajoittuu taloudellisiin ja teknologisiin tekijöihin muiden ulottuvuuksien kustannuksella (Kemp ym. 1998). Innovaatiopolkujen strategisessa hallinnassa oppimista tarkastellaan laajemmin useiden ulottuvuuksien kautta. Kemp ja kollegat (1998) tunnistavat innovaatiopolkujen tuottavan osaamista sosioteknisen järjestelmän eri osa-alueille. Kokeilut opettavat teknologian soveltamisesta käytännön olosuhteissa, jolloin voidaan kehittää teknologiaa, esimerkiksi optimoinnin tai täydentävien laitteiden avulla. Systemisten innovaation esteenä voi olla hallinnollisia tai sääntelyyn liittyviä esteitä, jotka voidaan havaita kokeilun aikana. Kokeilujen avulla voidaan ylittää kulttuurisia tai psykologisia esteitä, kuten lisätä ymmärrystä uuden teknologian hyödyistä sekä luoda kysyntää kuluttajien keskuudessa. Monien eri toimijoiden yhteisiä kokeiluja voidaan perustellusti kuvata ongelmalähtöisiksi, koska ne koostuvat oppimisesta ja yhteisestä toiminnasta ja luovat kontekstisidonnaista tietoa (Van Kleef & Roome 2007). Kokeiluilla yritykset voivatkin tuottaa juuri sellaista tietoa, joka on suoraan sovellettavissa omaan yritystoimintaan.

Verkostot ovat tärkeässä osassa kokeilun onnistumisessa (Kemp ym. 1998). Uuden innovaation alkuvaiheessa verkostot ovat tyypillisesti suppeita ja teknologian tuntemus ja osaaminen rajatun ryhmän tiedossa. Kokeilujen avulla voidaan laajentaa osaajaverkostoa. Onnistumisen kannalta verkostossa on oltava edustettuna useita eri tahoja, kuten yrityksiä, tutkimuslaitoksia ja käyttäjiä. Laaja verkosto mahdollistaa teknologian eri ulottuvuuksien ymmärtämisen ja toisaalta takaa riittävät resurssit kokeilun toteuttamiselle. Toinen verkostoille tärkeä ominaisuus on niiden syvyys, joka tarkoittaa osallistujien kykyä kommunikoida ja jakaa vastuuta eri toimijoiden kesken (Schot & Geels 2008).

Kokeilujen systemaattisella tarkastelulla ja raportoinnilla kokeilujen oppimisprosesseja voidaan jakaa laajemmin yhteiskuntaan. Kaikki kokeilut eivät onnistu, mutta kaikista kokeiluista voidaan oppia, minkä vuoksi kokeilujen systemaattinen arviointi on tärkeää (Kivimaa ym. 2017). Kokeilujen arviointi ja vertailu on kuitenkin osoittautunut hankalaksi, koska kokeilut ovat myös hyvin kontekstisidonnaisia. (Heiskanen & Matschoss 2016)

Systeemisten murrosten tutkimuksessa tutkitaan myös uusien ratkaisujen skaalautumisen edellytyksiä. Innovaatiopolkujen strategisen hallinnan tutkimus on keskittynyt erityisesti innovaatiopolkujen sisäisiin prosesseihin ja ehkä siksi kokeilujen skaalaaminen on jäänyt vähemmälle huomiolle (Schot & Geels 2008). Energiamurroksen kentällä tunnustetaan skaalaamisen haaste: kokeiluissa menestyneet innovaatiot eivät välttämättä leviä tai niitä ei toisteta uusissa kohteissa. Kokeilun sisäiset prosessit ovat tärkeitä kokeilun onnistumiselle, mutta on havaittu, että ne eivät riitä takaamaan innovaatioiden leviämistä (Naber ym. 2017). Tällöin kokeilut eivät onnistu kasvamaan ulos innovaatiopolkujen tasolta ja vaikuttamaan vallitsevaan toimintajärjestelmään (Schot & Geels 2008). Skaalautuminen on prosessi, jossa innovaatiopolkujen toimintamallit siirtyvät järjestelmän tasolle (Ruggiero, Martiskainen & Onkila 2018). Kokeilujen onkin pyrittävä sisäisten prosessien ohessa vuorovaikutukseen laajemman toimintaympäristön kanssa (Naber ym. 2017). Kysymys on tärkeä energiamurroksen näkökulmasta, koska vaikuttaakseen vallitsevaan energiajärjestelmään kokeilujen on parannettava teknologian kilpailukykyä ja muokattava toimintaympäristöä, jotta skaalautumisen edellytykset paranevat (Sengers ym. 2016).

Naber ja kollegat (2017) ovat luokitelleet skaalautumisen neljään kategoriaan aikaisemman tutkimuksen pohjalta. Kokeilua saatetaan skaalata lisäämällä yhteistyö kumppaneita tai teknologia otetaan käyttöön uusissa kohteissa jolloin kokeilu *kasvaa*. Kokeilu voidaan *toistaa* viemällä se muihin kohteisiin lähes samalaisena. *Kasautuminen* on skaalautumisen muoto, jossa kokeilun elementtejä yhdistetään uusiin kokeiluihin. *Toimintaympäristön muutos* syntyy, kun kokeilu aiheuttaa laajemman institutionaalisen muutoksen systeemiin, esimerkiksi muuttamalla sääntelyä.

3.4 Viitekehyksen rajoitteet

Strateginen innovaatiopolkujen hallinta on saanut kritiikkiä siitä, että se keskittyy yhden innovaation kehityksen tutkimiseen. Teorian perusoletus on, että kestävyysmurrosta voidaan ohjata suojaamalla, kehittämällä ja voimaannuttamalla toivottavien teknologioiden käyttöönottoa (Schot & Geels 2008). Empiirinen tutkimus innovaatiopolkujen kokeilusta on osoittanut, että kokeilujen merkitystä murroksen kiihdyttämisessä on liioiteltu (Sengers ym. 2016). Kokeiluihin liitettyihin lupauksiin kestävyysmurroksesta tulisikin suhtautua varauksella.

Energiamurros on systeemistä murrosta, jossa monet eri teknologiat, palvelut ja osaamiset yhdistyvät ja muokkaavat nykyistä järjestelmää. Murroksellisia teknologioita voidaan tarkastella

yksittäisinä innovaatioina tai kokonaisuuden osana, vuorovaikutuksessa muiden teknologioiden ja ympäröivän systeemin kanssa. Kysyntäjoustokin on innovaatio, joka syntyy niin energiateknologian kuin tieto- ja viestintäteknologian vuorovaikutuksessa (Berninger ym. 2017). Kysyntäjoustossa voidaan hyödyntää omaa energiatuotantoa, akkuja, älyverkkoja ja esineiden internet –teknologiaa. Strateginen innovaatiopolkujen edistäminen ei ole tähän asti huomionnut riittävästi eri innovaatioiden vuorovaikutuksen merkitystä innovaatioiden kehityksessä (Geels 2018). Innovaatiopolkujen strateginen edistäminen on saanut kritiikkiä myös, koska innovaatiopolkujen kokeiluiden koetaan olevan liian erillään markkinaehtoisesta kilpailusta, jotta ne yleistyisivät (Hommels, Peters & Bijker 2007).

Tutkielmassani tarkastelen kysyntäjoustoa systeemisenä innovaationa. Toisaalta kysyntäjouston voisi luokitella myös täydentäväksi teknologiaksi, eli sillä on positiivinen vaikutus ainakin kahteen muuhun komponenttiin (Markard & Hoffmann 2016). Tällaisia komponentteja ovat esimerkiksi uusituvan energian käyttöönotto ja kiinteistöjen energiankulutuksen hallinta. Vuorovaikutussuhteet teknologioiden, palveluiden, sääntöjen ja käytäntöjen välillä voivat olla moninaiset ja muuttua teknologian kehityksen edetessä (Markard & Hoffmann 2016). Murrokselliset teknologiat muodostavatkin monimutkaisen riippuvuussuhteiden verkoston jota yksittäistä teknologiaa tarkastelemalla ei riittävän hyvin kykene analysoimaan. Useiden erilaisten vuorovaikutussuhteiden syvempi tarkastelu on kuitenkin rajallista tämän tutkielman ja aineiston puitteissa.

Innovaatiopolut mahdollistavat teknologioiden testaamisen ja kehittämisen, mutta siitä huolimatta teknologian skaalaaminen innovaatiopolusta toimintaympäristöön on haasteellista (Naber ym. 2017). Vallitsevien teknologioiden markkina-asema on vahva. Tutkimalla kokeiluja ja niiden skaalautumista, voidaan paremmin ymmärtää innovaatiopolkujen ja hallitsevien toimintamallien välisiä vuorovaikutussuhteita sekä löytää skaalautumista edistäviä prosesseja. Tästä näkökulmasta katsottuna on kiinnostavaa, miten S-Ryhmä ja muut kokeiluun osallistuneet toimijat lähtevät skaalaamaan kokeilun tuloksia käytäntöön. Skaalataanko kokeilu uusiin kohteisiin? Jos ei, niin miksi? Mitä esteitä skaalaamisessa on?

Innovaatiopolkujen strategisen hallinnan sijaan olisin voinut käyttää myös muita kestävyysmurroksen ja innovaatioiden tutkimiseen sovellettuja viitekehyksiä, kuten monitasomallia tai teknologisten innovaatio järjestelmien –mallia (*technological innovation system*) (Geels 2002; Markard & Truffer 2008). Tarkoitukseni on lähestyä kysyntäjoustoa tarkastelemalla yksittäistä kokeilua. Siksi laajat systeemin tai toimialan muutosta kuvaavat mallit ovat mielestäni liian laajoja teorioita tarkasteltaessa kysyntäjoustoteknologian soveltamista yhdessä kokeilussa. Tutkimuskohteenani onkin tutkimani innovaatiopolkukokeilun sisäiset prosessit, eikä niinkään koko kysyntäjoustotoimialan kehitys.

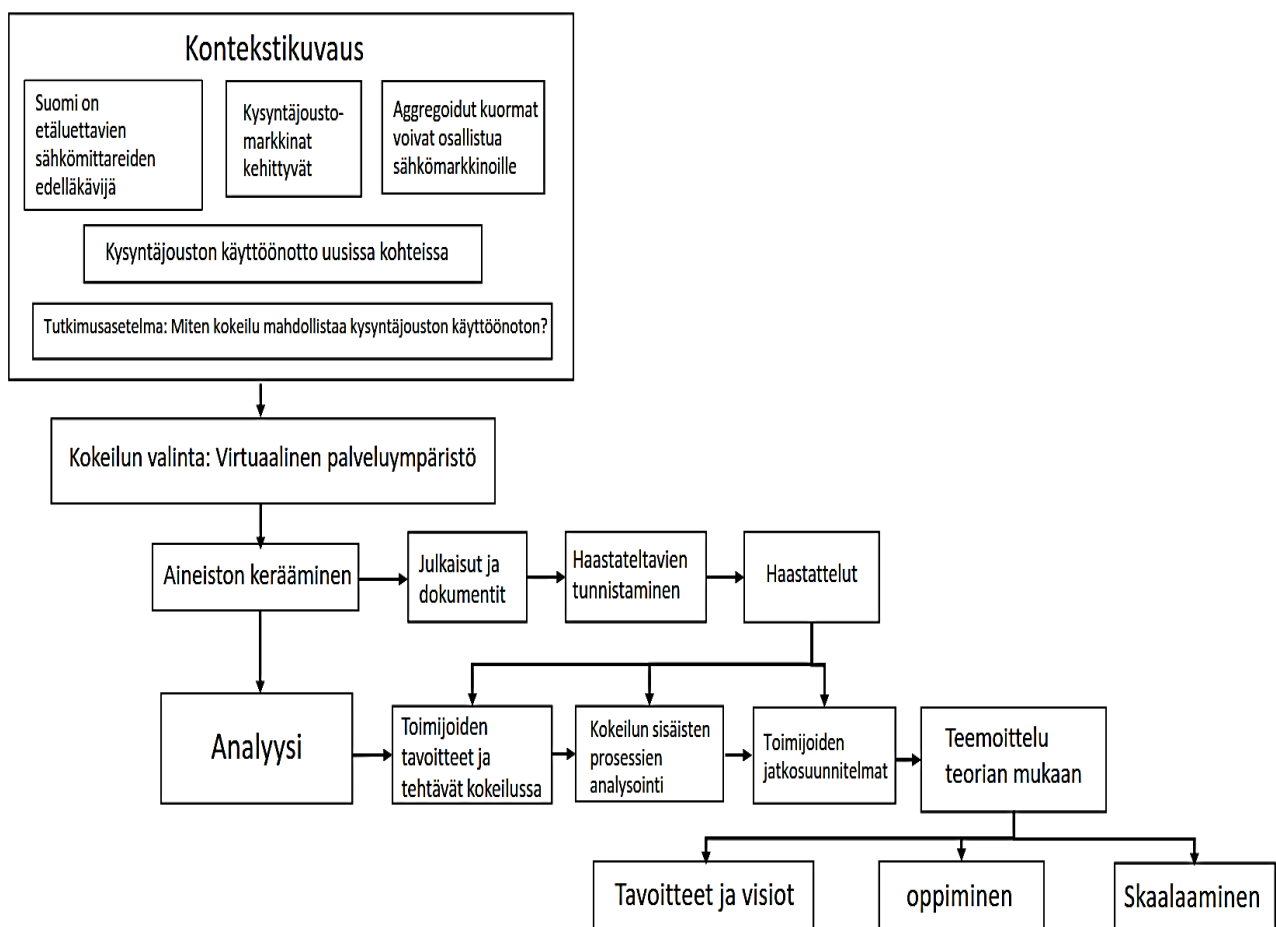
3.5 Tutkimuskysymykset

Kokeilut ja pilotit ovat alusta uusien käytäntöjen testaukseen ja niillä edistetään kysyntäjouaston yleistymistä. Siksi on tärkeää ymmärtää millaista tietoa ja ymmärrystä toimijat tuottavat kokeilun aikana. Tutkielman tarkoituksena on ymmärtää Virtuaalisen palveluympäristö –kokeilun toimijoiden tavoitteita ja visioita kysyntäjouaston käytöstä päivittäistavarakaupoissa. Lisäksi tarkastelen oppimista ja kokeilun skaalautumista. Tutkimuskysymykset ovat muotoutuneet innovaatiopolkujen strategisen hallinnan kirjallisuuden pohjalta (Kemp ym. 1998; Naber ym. 2017).

1. Millaisia odotuksia kokeilulle asetettiin ja millaisia visioita kokeilijat kysyntäjouaston ympärille rakentavat? Kysymys avaa toimijoiden näkemyksiä kysyntäjouaston tarpeellisuudesta ja merkityksestä sähkömarkkinoiden murroksessa. Kuten luvussa 3.3 totesin, tavoitteiden jakaminen on innovaatiopolkujen strategisessa hallinnassa tunnistettu kokeilun kannalta tärkeäksi prosessiksi, joka edistää innovaatiopolun kehitystä.
2. Mitä kokeilijat oppivat kysyntäjouastosta kokeilun aikana? Oletan, että kokeilu on lisännyt osallistujien osaamista tai muuttanut heidän käsityksiään teknologiasta, sähkömarkkinoista ja käyttäjien vaatimuksista. Oppiminen on keskeinen prosessi teknologian käyttöönoton ja hyväksyttävyyden kannalta.
3. Miten kokeilua aiotaan skaalata? Kokeilut eivät välttämättä johda muutoksiin vallitsevissa toimintamalleissa vaan skaalautumisen kautta uudet teknologiat ja käytännöt vakiintuvat osaksi järjestelmää. Kysyntäjouaston edistämisen kannalta on tärkeää, että kokeilun kautta saadut opit hyödynnetään jatkossa. Kysymyksen avulla pyrin tarkastelemaan, miten innovaatiopolku kehittyy kokeilun jälkeen.

4. Aineisto ja menetelmät

Tässä luvussa kuvaan tutkielman menetelmiin ja aineistoon liittyviä valintoja. Tutkimuskohteena on innovaatiopolkukokeilu, jonka tarkastelussa olen hyödyntänyt tapaustutkimusta tutkimusnäkökulmana. Luvussa esittelen tapaustutkimusta tutkimusasetelmana sekä esittelen tutkimuskohteena olevan Virtuaalinen palveluympäristö –kokeilun eli VIRPA-B: n. Olin keväällä tutkimusavustajana Smart Energy Transition –hankkeessa ja tein tapaustutkimuksen VIRPA-B –kokeilusta osana hanketta (Söyrinki 2017). Myöhemmin päätin laajentaa tapaustutkimusta pro-gradu –tutkielmaksi. Kokeilun kuvauksen jälkeen esittelen tutkielmassa käytetyn aineiston sekä aineistonkeruumenetelmät. Luvun lopussa tarkastelen teorialähtöistä sisällönanalyysia menetelmänä ja avaan aineiston analyysissä tekemiäni valintoja. Kuva 4.1. havainnollistaa tutkielman menetelmiä ja eri vaiheita.



Kuva 4.1 Tutkielman menetelmien yleiskuvaus

4.1 Tapaustutkimus

Kokeilun tutkimiseen luonteva tutkimusmenetelmä on tapaustutkimus. Tapaustutkimus on empiirinen lähestymistapa, joka tutkii ajankohtaista ilmiötä sen aidossa kontekstissa (Yin 2009). Siinä ei kuitenkaan pyritä vaikuttamaan tai manipuloimaan tutkimuskohteena olevaa tapausta. Tutkin Virtuaalista palveluympäristö –kokeilua sen toimijaverkon ulkopuolelta ja muodostan analyysini keräämäni aineiston avulla. Asetelma eroaa tapaustutkimuksista, joissa tutkija pyrkii systemaattisesti vaikuttamaan kokeilun kulkuun tai osallistuu sen kehittämiseen (Yin 2009). Tutkielmassa hyödynnän tapaustutkimusta lähinnä tutkimusnäkökulmana (Vilka, Saarela & Eskola. 2018), vaikkakin sitä voidaan käyttää myös tutkimusmetodina (Yin 2009).

Tapaustutkimukset voidaan luokitella intensiiviseen ja ekstensiiviseen tapaustutkimukseen riippuen tutkimuksen tavoitteista ja rajauksesta (Erikson & Koistinen 2014). Päädyin tekemään intensiivisen tapaustutkimuksen, jossa tavoitteena on ymmärtää yhtä tai kahta tapausta mahdollisimman syvällisesti. Intensiivisessä tarkastelussa tapausta tutkitaan monesta eri lähteestä kerättävän aineiston avulla, mutta syvällinen näkemys muodostuu toimijoiden itsensä kertomien kokemusten kautta (Erikson & Koistinen 2014). Toimijoiden kokemuksiin perustuvaa aineistoa saatetaan kritisoida epäluotettavana tai puolueellisenä. Kokeilijoilla on kuitenkin paljon käytännön kokemusta, jota aikaisemmassa tutkimuksessa on todettu tarvittavan kysyntäjoukon käyttöönotossa (Järventausta ym. 2015). Asiantuntijat ovat aiemmissa tutkimuksissa painottaneet sähköikäikättäjien roolia kysyntäjoukon edistämässä ja sähköjärjestelmän murroksessa (Annala ym. 2018a). Kokeilijoiden näkemyksiä kysyntäjoukon käyttöönotosta ei ole aiemmin tutkittu yksityiskohtaisesti. Tutkielmani tuo uutta tietoa juuri tästä näkökulmasta.

Ekstensiivinen, eli laajempi kysyntäjoukonmarkkinoiden tapaustutkimus olisi vaatinut useamman kokeilun tarkastelua (Yin 2009). Kysyntäjoukon edistämiseksi on käynnissä useita pilotteja ja olisin voinut tehdä myös useamman kokeilun vertailevan tutkimuksen. Rajasin tutkimuksen yhteen tapaukseen kysyntäjoukokokeilujen moninaisuuden takia. Erilaisia kokeiluja ei välttämättä ole mielekästä vertailla, koska ne voivat olla tavoitteiltaan, teknologialtaan ja kohteiltaan liian erilaisia. Kohteiden vertailu jäisi myös ohueksi, koska syvällinen perehtyminen useaan kokeiluun olisi pro gradu –tutkielman puitteissa työlästä. Lisäksi tutkielmani kokeilu sisältää jo itsessään vertailua (*embedded case study*), koska samaa teknologiaa sovelletaan kahdessa energiankulutukseltaan erilaisessa päivittäistavara-kaupassa (Yin 2009).

Kokeiluilla tuotetaan käytännönläheistä ja soveltavaa tietoa. Kokeiluprosessit ja kokeilujen myötä saatava tieto on harvoin pelkästään kvantitatiivista, minkä vuoksi prosessien analysointiin ja kuvailemiseen tarvitaan kvalitatiivista analyysiä (Sørensen ym. 2010). Intensiivisen tapaustutkimuksen rajoitteena on, että tiedon sovellettavuus ei ole ongelmaton (Yin 2009). Tietyssä rajatussa kontekstissa toteutettu kokeilu ei välttämättä ole toistettavissa tai samat ratkaisut eivät toimi, kun kokeilun konteksti muuttuu. Tutkiessani kysyntäjoustoa yksittäisen kokeilun kautta, tulokset ovat hyvin kontekstisidonnaisia, mutta ne voivat silti kertoa kysyntäjouston hyödyistä ja toisaalta myös implementoinnin esteistä Suomen sähkömarkkinoilla. Tapaustutkimus voi olla ainutkertainen, poikkeuksellinen tai opettava, jolloin sen avulla voidaan oppia tutkittavan ilmiön yleisistä piirteistä (Erikson & Koistinen 2014). Intensiivinen tapaustutkimuskin voi tarjota tärkeää tietoa polkuriippuvuuden heikentämiseksi ja energiamurroksen edistämiseksi. Kestävyyismurrokselle on ominaista kontekstisidonnaisuus, koska hallitsevat teknologiat sekä järjestelmät ovat eri maissa erilaisia ja murrokset etenevät maantieteellisesti eri tahdissa (Markard 2018).

Kestävyyismurrosten tutkimisessa on tunnistettu tarve kokeilujen systemaattiseen tarkasteluun murroksen ymmärtämiseksi ja edistämiseksi (Kemp ym. 1998). Hyödynsin innovaatiopolkujen strategisen hallinnan teoreettista viitekehystä aineiston keruussa ja analyysiä ohjaavana kehikkona. Samalla testaan, soveltuuko teoria kysyntäjouston kaltaisen systeemisen innovaation tarkasteluun, kun teorian taustalla oleva empiirinen tutkimus perustuu yksittäisiin innovaatioihin liittyviin murroksiin (Kemp ym. 1998; Weber ym. 1999). Intensiivinen tapaustutkimus voi vahvistaa teorian perusoletuksia tai haastaa niitä, silloin kuin tapaus soveltuu teorian testaamiseen (Yin 2009).

Tutkielmani suunnittelussa olen noudattanut tapaustutkimuksessa hyödynnettyjä tutkimustaktiikoita validiteetin ja luotettavuuden lisäämiseksi. Tapaustutkimukselle on ominaista useista lähteistä kerätyn aineiston kriittinen vertailu eli triangulaatio. Aineiston kerääminen useista eri lähteistä lisää tutkimuksen validiteettia. (Yin 2009) Tutkielmassani hyödynnän monimenetelmällistä tutkimusotetta rakentaakseni mahdollisimman syvän ymmärryksen osallistujien kokemuksista. Eri menetelmiä yhdistämällä saatavat tulokset voivat syventää ymmärrystä tutkittavasta tapauksesta (Erikson & Koistinen 2014).

Olen pyrkinyt lisäämään analyysin validiteettia antamalla haastateltaville mahdollisuuden kommentoida tutkielmaani ennen viimeisen version palautusta. Haastateltavien antamat kommentit ovat yksi tapaustutkimuksen menetelmä rakentaa luotettavuutta kvalitatiiviselle analyysille (Yin 2009). Pyytämällä kommentteja pyrin varmistamaan, että haastatteluaineistosta johtamani tulkinnat vastaavat myös heidän käsityksiään eivätkä näkemykset ole vääristyneet tutkielman teon aikana.

4.2 Virtuaalinen palveluympäristö – kysyntäjoustokokeilu

Tässä luvussa esittelen tutkimuskohteekseni valitsemani kokeilun. Kuvaus perustuu käyttämäni kirjalliseen aineistoon (liite 1) sekä haastatteluihin. Vaikka kysyntäjoustoa tutkitaan aktiivisesti, teknologia on käytössä vasta marginaalisesti ja markkinat ovat vasta kehittymässä (Torriti ym. 2010; Paterakis ym. 2017). Toimijat hakevat ratkaisuja käytännön sovelluksiin kokeilujen kautta. Alalle on kehittynyt startup-yrityksiä, mutta myös vakiintuneet energiayhtiöt, kuten Fortum ja Helen kehittelevät omia palveluitaan kysyntäjoustopotentialin ympärille (Annala ym. 2018b). Myös suuret sähkönkäyttäjät ovat kiinnostuneet kysyntäjoustopotentialin tarjoamista mahdollisuuksista sähkömarkkinoilla.

Valitsin tutkimuskohteeksi Virtuaalinen palveluympäristö –kokeilun eli VIRPA-B:n, jossa kysyntäjoustopotentialia hyödynnetään päivittäistavarakaupoissa. Tapaus on kiinnostava, koska liikekiinteistöissä uskotaan olevan merkittävää hyödyntämätöntä joustopotentialia (O’Connell ym. 2014c). Niissä on paljon säädettäviä sähkölaitteita, joita voidaan ohjata kiinteistön ohjausjärjestelmän avulla (Ma ym. 2017). Kokeilussa säädetään päivittäistavarakaupan kylmälaitteiden sähkönkulutusta. Kylmälaitteiden kysyntäjoustopotentialia ei ole ennen tutkittu käytännön olosuhteissa, vaikka ne kuluttavat noin puolet päivittäistavarakauppojen energiankulutuksesta ja niissä uskotaan olevan paljon säädettävää kapasiteettia (VTT haastattelu 2017). Aikaisempaa tutkimusta on kylmälaitteiden säätämisestä testiolosuhteissa (O’Connell ym. 2014b). Lisäksi on kartoitettu liiketilojen kysyntäjoustopotentialin osallistumisen hyötyjä, esteitä sekä sidosryhmien roolia uusien käytäntöjen omaksumisessa (Ma ym. 2017). Päivittäistavarakauppojen kapasiteettia ja soveltuvuutta käytännön olosuhteissa on kuitenkin tutkittu varsin vähän. VIRPA-B –kokeilussa energiakulutustietojen pohjalta on tarkoitus luoda malleja automaattiselle ohjaukselle. Sähkölaitteiden kulutusta ohjataan etänä esineiden internet –teknologialla (*Internet of Things, IoT*). Kokeilijoiden tavoitteena oli tuottaa tietoa sähkönkäyttäjän vaatimuksista sekä tuotteistaa päivittäistavarakaupassa oleva kysyntäjoustopotentialia. Tuotteistaminen tarkoittaa kapasiteetin tarjoamista sähkömarkkinoille uutena tulonlähteenä kaupan toimijoille.

VIRPA-B –kokeiluun osallistui laaja toimijaverkosto, johon kuuluu suuri sähkökäyttäjä S-Ryhmä, kysyntäjoustopalvelun kehittäjä Rejlers Oy, tutkijoita VTT:stä ja Oulun yliopistosta, kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj sekä automaation, kylmälaitteiden ja energiaratkaisujen toimittajia Emtele Oy, Fidelix Oy, Green Energy Finland Oy, Jetitek Oy, Jalecon Oy. Kantaverkkoyhtiötä lukuun ottamatta toimijat tulevat perinteisen energiateollisuuden ulkopuolelta, vaikkakin useilla toimijoilla on pitkä kokemus sähkömarkkinoilla tai -alalla toimimisesta.

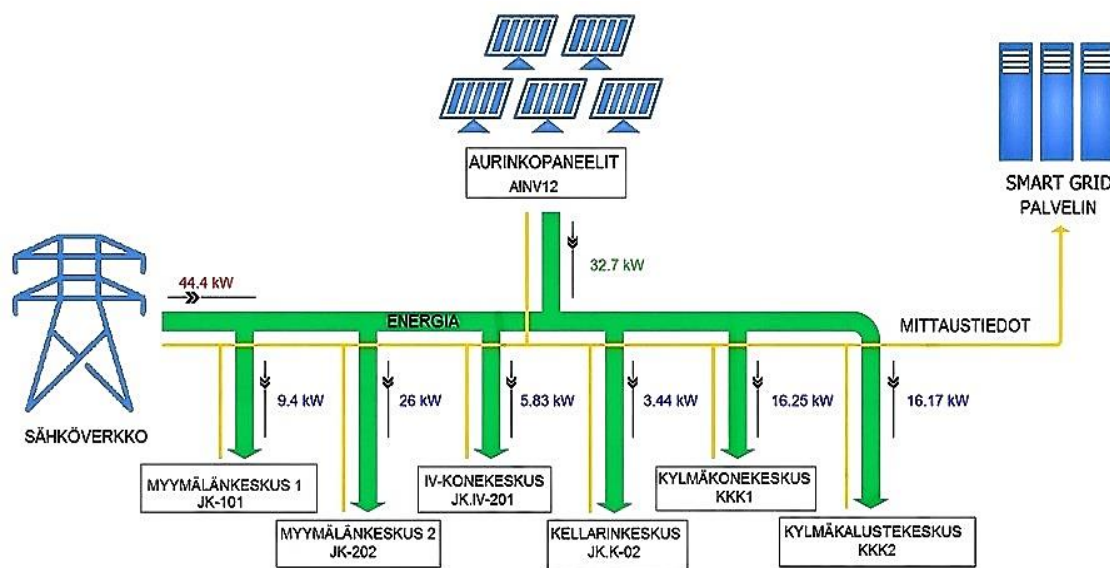
Fingrid Oyj on Suomen kantaverkkoyhtiö, joka vastaa kantaverkon käytön suunnittelusta, valvonnasta ja ylläpidosta. Fingridissä jouston tarpeen lisäämiseen on vastattu kysyntäjoustokokeiluilla. Yhteensä Fingrid on ollut mukana 5-6 kysyntäjoustokokeilussa. VIRPA-B –kokeilussa Fingrid on käynyt vuoropuhelua muiden toimijoiden kanssa markkinapaikkojen vaatimuksista. (Fingrid 2018 haastattelu)

S-Ryhmän energiayhtiössä S-Voimassa kysyntäjoustoa on lähestytty kokeilujen kautta. S-Voima vastaa S-Ryhmän sähkönhankinnasta. Päivittäistavarakauppaketti S-Ryhmä on Suomen suurin ei-teollinen sähkönkuluttaja, sen vuosittainen energiankulutus on noin 1 TW, mikä on noin 1% koko Suomen sähkönkulutuksesta (S-Ryhmä 2015). Osuuskaupassa energianhallintaa on alettu lähestyä yhä suunnitelmallisemmin. Tavoitteena on kuluttaa energiaa vähemmän ja tuottaa sitä myös itse. S-Ryhmä omistaa osan TuuliWatti Oy:stä. Vuonna 2017 uusiutuvilla tuotetun sähkön osuus kaikesta S-Ryhmän energiankulutuksesta on noin 60% ja tavoitteena on myös kasvattaa uusituvan sähkön osuus 80% vuoteen 2025 mennessä (S-Ryhmä 2017).

Ennen VIRPA-B –kokeilua S-Voima on tehnyt pilotteja, joissa kysyntäjoustoa on tehty suhteessa sähkön hintaan, selvitetty varavoimakoneiden soveltuvuutta Elspot-, Elbas- ja säätösähkömarkkinoille sekä kaupan valaistuksen ja ilmanvaihdon kysyntäjoustoa reservimarkkinoille (S-Voima haastattelu 2017; S-Ryhmä 2015). Kokeilujen lähtökohta on, että kysyntäjoustosta ei saa aiheutua haittaa kaupan toiminnalle. Päivittäistavarakaupoissa valaistusta, lämpöpumppuja, ilmanvaihtoa ja varavoimakoneita säädettiin hintasignaalien mukaan. Aiemmissa kokeiluissa säätövoima jäi kuitenkin oletettua odotettua pienemmäksi ja sähkönhinnan vaihtelu osoittautui liian pieneksi, jotta todellista säästöä energiakustannuksissa olisi syntynyt. Lisäksi havaittiin, että kauppojen sähkönkulutus vaihteli jatkuvasti. Loppupäätelmänä oli, että tuntihintaa vastaan tehtävä kysyntäjousto ei olisi S-Ryhmän näkökulmasta taloudellisesti kannattavaa. S-Voimassa kuitenkin koettiin, että kokeilusta opittiin paljon ja saatua osaamista voitiin hyödyntää jatkossa.

VIRPA-B on jatkoa aiemmista kokeiluista, mutta siihen on yhdistetty myös uusia elementtejä, joita ei aiemmin ole testattu. Alkuperäisessä suunnitelmassa kysyntäjoustoa oli tarkoitus kokeilla S-Ryhmän uudessa keskusvarastossa Sipoossa sekä uudessa S-market Tuirassa Oulussa (Söyrinki 2017). Suunnitelmat kuitenkin muuttuivat kokeilun alkupuolella ja keskusvarasto jätettiin hankkeen ulkopuolelle. VIRPA-B –hankkeessa kokeiltiin kysyntäjoustoa kahdessa S-Ryhmä Arinan päivittäistavarakaupassa Oulussa. Ensimmäisenä kohteena säilyi alkuperäisen suunnitelman mukaisesti uusi energiatehokas S-market Tuira. Sen katolla on aurinkovoimalat ja maassa maalämpökaivot jotka tuottavat osan kaupan energiankulutuksesta. Päivittäistavarakaupan

kylmälaitteiden lauhdevoimaa voidaan käyttää hyödyksi lämmitykseen tai viilennykseen varastoimalla lauhdevoimaa maalämpökaivoihin, mikä parantaa kaupan energiatehokkuutta. Rakennusvaiheessa uuden päivittäistavarakaupan sähkölaitteita optimoitiin siten, että ne kestävät kulutuksen säätämisen ilman, että laitteiden toiminta häiriintyy. Edistyneen energiajärjestelmän ja energiatehokkuuden ansiosta S-market kuluttaa vain noin 40% vanhemman sukupolven S-marketin energiankulutuksesta. Toinen kohde oli tavallinen S-market Kello, jota vastaavia päivittäistavarakauppoja on Suomessa satoja. Toisessa kohteessa sähkölaitteita ei ole erikseen optimoitu, mutta sähkönkulutuksen mittausta ja ohjausta varten kauppaan asennettiin samaa teknologiaa kuin energiatehokkaassa Tuirassa.



Kuva 4.2. S-market Tuusulan energiajärjestelmää seurattiin etänä reaaliajassa kokeilun ajan. Kuva on muokattu VTT:n nettisivulta (VTT 2017. viitattu 12.6.2017)

Kokeilun ajan kohteiden energiankulutusta seurattiin etänä reaaliajassa älymittareilla. Näin voitiin vertailla kauppojen eroja energiankulutuksen osalta. VTT julkaisi myös nettisivun, josta kaupan energiajärjestelmää pääsi seuraamaan reaaliajassa (kuva 4.2). Mittausten perusteella päivittäistavarakauppojen sähkönkulutusta mallinnettiin. Sähkönkulutusmallit mahdollistavat automaattisen kuormanohjauksen, jolloin käyttäjältä ei tarvita aktiivisia toimia sähkönkulutuksen hetkelliseen vähentämiseen. Samalla tutkittiin kaupan kylmäjärjestelmissä olevan kysyntäjoukon potentiaalia ja soveltuvuutta sähkömarkkinoille (Söyrinki 2017). Kokeilun energiatehokas tutkimuskohde Tuusulan S-market, on pitkän kehitystyön tulosta. Tuusulan suunnittelussa uutta teknologiaa on sovellettu sen mukaan mitä aiemmista rakennushankkeista on opittu (Söyrinki 2017).

Myös VIRPA-B –kokeilu on osa kehitystyötä, jossa sovelletaan jo aiemmista piloteista saatuja ideoita ja jonka aikana keksitään uusia pilotteja kokeilun aikana syntyneistä ajatuksista.

Aiemmissa tutkimuksissa on kartoitettu kysyntäjoustop esteitä Suomessa (Järventausta ym. 2015; Annala ym. 2018a). Kysyntäjoustop edistäminen riippuu markkinoiden kehityksestä, teknologiainvestoinneista, sähkömarkkinoilla toimivien yritysten aktiivisuudesta (Apajalahti, Lovio & Heiskanen 2015) sekä siitä, miten kuluttajat omaksuvat uusia tapoja käyttää sähköä (Heiskanen & Matschoss 2016). Tämä tutkielma tarkastelee näitä ja muita kysyntäjoustopon liittyviä kysymyksiä tapaustutkimuksen kautta. Kokeilu soveltuu hyvin tapaustutkimuksen kohteeksi, koska se on selvästi rajattu kokonaisuus. Vaikka VIRPA-B –kokeilussa toteutettiin rajatussa kontekstissa, sillä on monipuolisen toimijaverkoston kautta yhtymäkohtia laajemmin sähköjärjestelmään. Kokeilussa skaalaamispotentiaali on merkittävä, kun ajatellaan S-Ryhmän kiinteistöjen määrää ja energiakulutusta. Tutkimalla kokeiluja on mahdollista löytää keinoja edistää uuden teknologian leviämistä ja kiihdyttää energiamurrosta (Kivimaa ym. 2017). Aiemmassa tutkimuksessa on todettu, että ratkaisut kysyntäjoustopon lisäämiseksi ovat suurimmaksi osaksi käyttäjälähtöisiä (Annala ym. 2018a). Sähkönkäyttäjien pioneerit ovatkin lähteneet hakemaan ratkaisuja kokeilujen kautta ja siten edistävät kysyntäjoustopon hyväksyttävyyttä ja käyttöönottoa. Kokeilun osallistujat eivät ole vakiintuneita energiayhtiöitä ja heidän näkemyksiään kehittyvällä toimialalla on tutkittu varsin vähän. Sähkönkäyttäjät ja aggregaattorit ovat toimijoita jotka muokkaavat perinteisten toimijoiden asemaa sähkömarkkinoilla. Tutkielmani avaa näiden kokeilijoiden kokemuksia kysyntäjoustopon käyttöönotosta.

4.3 Aineistonkeruumenetelmä

Seuraavaksi kuvailen, miten tutkielman aineisto on kerätty. Olen pyrkinyt keräämään monenlaista aineistoa saadakseni mahdollisimman monipuolisen kuvan VIRPA-B –kokeilusta. Tutkielman haastatteluaineistot on kerätty kahdella eri kierroksella. Ensimmäinen haastattelu kierros on tehty osana Smart Energy Transition -tutkimushanketta, jossa työskentelin tutkimusavustajana kesällä 2017. Smart Energy Transition hankkeessa tehtiin 20 tapaustutkimusta uuden energian kokeiluista, joista yksi oli Virtuaalinen palveluympäristö –pilotti. Tarkoituksena oli kerätä systemaattisesti tietoa kokeiluista oppimisesta. Virtuaalinen palveluympäristö -tutkimusraporttia varten tein 5 haastattelua, joiden keskimääräinen kesto noin oli 40 minuuttia. Ensimmäiset haastattelut tehtiin keväällä/kesällä

2017. Haastatteluissa ilmeni, että kokeilu oli vielä käynnissä ja kysyntäjoustopuolelta tulosten analyysi oli vasta alkamassa (Söyrinki 2017). Haastattelut nauhoitettiin ja litteroitiin sisällön analyysia varten. Jo silloin ajatuksena oli, että aineistoa voisi hyödyntää myöhemmin pro gradu – tutkielman aineistona.

Päätin jatkaa VIRPA-B –kokeilun tutkimista myös pro gradu –tutkielmassani. Tutkielmaani varten päätin kerätä lisää aineistoa ja tehdä toisen haastattelukierroksen kokeilun lopussa. Lisäaineiston keruu oli luontevaa koska edellinen aikaisempi aineisto oli kerätty kesken kokeilun. Kokeilu päättyi huhtikuussa 2018. Haastattelut tehtiin kesällä juuri hankkeen loppumisen jälkeen ja yksi täydentävä haastattelu vielä syksyllä 2018. Toisella haastattelukierroksella haastateltavat olivat osin samoja kuin ensimmäisellä, mutta en kokenut tarpeelliseksi haastatella kaikkia ensimmäisen kierroksen haastateltavia. Lisäksi halusin täydentää aineistoani vielä yhden uuden toimijan haastattelulla. Toisella haastattelukerralla tein 3 haastattelua, joiden keskimääräinen kesto vaihteli puolesta tunnista tuntiin. Syklinen työskentelytapa antoi tilaa arvioida kriittisesti keräämääni aineistoa ja pohtia tarvetta lisäaineiston keräämiselle (Vilkkä ym. 2018).

Haastattelu valikoitui aineistonkeruumenetelmäksi siksi, että tutkimastani tapauksesta löytyy vain niukasti muuta aineistoa. Kaikki aineiston haastattelut olivat puolistrukturoituja haastatteluja. Puolistrukturoitu haastattelu on välimuoto strukturoidun ja strukturoimattoman haastattelun välissä. Haastattelun aiheet ja kysymykset oli valmisteltu etukäteen, mutta kysymysrunko oli joustava sen mukaan, mitä haastattelutilanteissa nousi esille. Puolistrukturoitu haastattelu mahdollistaa alkuperäisestä rungosta poikkeamisen, koska haastattelujen tavoitteena on saada tutkittavasta kohteesta mahdollisimman tarpeenmukaista tietoa (Tuomi & Sarajarvi 2018 s. 75). Ensimmäisen kierroksen tutkimuskysymykset noudattivat Smart Energy Transition –hankkeessa tapaustutkimusraportteja varten laadittua haastattelurunkoa (liite 2). Toisella kierroksella haastattelurungon avulla pyrin täydentämään aineistoani ja kysymykset oli laadittu aiemman aineiston ja teoreettisen viitekehyksen pohjalta (liite 3).

Haastattelurunko muokkautui sen mukaan mitä organisaatioita haastateltava edusti. Kaikilla haastateltavilla oli kokeilussa erilainen rooli, joten saman strukturoidun haastattelurungon toistaminen ei olisi ollut luontevaa. Tästä syystä joitain kysymyksiä oli kohdennettu toimijoiden vastuiden mukaan. Haastattelut olivat puolistrukturoituja myös siksi, että haastattelujen aikana paljastui yllätyksiä, joihin en kirjallisen materiaalin perusteella ollut osannut varautua. Esimerkiksi ensimmäisellä haastattelukierroksella selvisi, että kokeilua oli muokattu merkittävästi alkuperäisestä suunnitelmasta. Haastatteluissa selvisi että, toinen kokeilun kohde oli vaihdettu täysin toisenlaiseen kohteeseen, mikä muutti kokeilun asetelmaa. Kokeilun asetelman muuttuminen vaikutti

haastatteluiden rakenteeseen varsinkin ensimmäisellä kierroksella. Käyttämäni haastattelurungot ovat tutkielman liitteenä.

Aineisto koostuu yhteensä 8 haastattelusta. Kahdessa vaiheessa kerätty aineisto on tyypillistä pitkittäiselle tapaustutkimukselle (Yin 2009). Kahdella kertaa kerätyn aineiston tarkoituksena ei ole mennä syvälle aineistoissa oleviin eroihin, vaan niiden kautta saada parempi kokonaiskuva kokeiluista ja mitä oppeja siitä voidaan johtaa kysyntäjoustopuolisuuden edistämiseksi sähköjärjestelmässä. Tapaustutkimuksessa aineiston kattavuutta suhteutetaan jatkuvasti selitettävään tapaukseen, eli aineiston kerääminen ja tapauksen määrittely muotoutuvat yhtä aikaa (Vilkkä ym. 2018). Kaksi haastatteluaineistoa mahdollistivat kokeilun pidemmän aikaseurannan ja se voisi mahdollisesti paljastaa visioiden ja oppimisen muutoksen kokeilun edetessä. Kokeilun edetessä osallistujien tiedot ovat kehittyneet, joten useampi haastattelukerta auttaa myös hahmottamaan toimijoiden oppimista kokeilun edetessä sekä välillisesti kysyntäjoustopuolisuuden kehitystä. Ensimmäisessä aineistossa korostuvat eri asiat kuin myöhemmin kerätyssä aineistossa ja siten ne täydentävät toisiaan. Haastattelut olivat myös melko lyhyitä. Kun tarkoituksena on kuitenkin tutkia usean vuoden kestänyttä hanketta, useampi haastattelukerta mahdollisti monipuolisemman haastatteluaineiston ja syvällisemmän tutustumisen kokeilun eri vaiheisiin.

Haastateltavat on valittu heidän soveltuvuutensa mukaan ja he edustavat eri toimijoita kokeilussa. He ovat kokeilun asiantuntijoita, koska heillä on erityistä tietoa kokeilun yksityiskohdista. Osa haastateltavista tunnistettiin kokeilusta tehtyjen julkaisujen perusteella. Jotkut haastateltavat taas tunnistin lumipallomenetelmällä, eli aiemmat haastattelut johdattivat uusien haastateltavien jäljille (Tuomi & Sarajärvi 2018. s. 99). Kokeilussa oli mukana useita toimijoita, mutta tutkimuksen kannalta kaikkien organisaatioiden edustajia ei ollut tarpeen haastatella, koska heidän tehtävänsä ja osaamisensa kokeilussa painottui muualle kuin kysyntäjoustopuolisuuteen. Myös yksi henkilö, joilta kysyin haastattelua, totesi ettei ole seurannut kokeilua niin tarkasti, että voisi kommentoida kokeilun etenemistä. Vaikka kokeilussa oli siis mukana useita tahoja, näiden rooli ja aktiivisuus vaihtelivat toimijaverkon sisällä.

Tässä tutkielmassa on haastateltu kokeiluun osallistuneita henkilöitä S-Ryhmästä, VTT:stä ja Rejlers Oy:ltä sekä kantaverkkoyhtiö Fingridistä. Lisäksi aineistoa on täydennetty asiantuntijahaastattelulla Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta. Haastattelut on anonymisoitu eikä haastateltaviin viitata nimillä. Taulukkoon 4.1 on koottu haastatteluaineiston keräämiseen liittyneet keskeiset tiedot.

Taulukko 4.1. Haastatteluaineisto esitetty taulukossa. Haastateltavien edustama organisaatio, haastattelujen ajankohta ja rooli kokeilussa.

Haastateltavien tausta organisaatiot	Haastattelukierros 1	Haastattelukierros 2	Rooli kokeilussa
Teknologian tutkimuskeskus, VTT	5/2017	5/2018	Tutkimus
Arina, S-Ryhmä	6/2017	-	Sähkökäyttäjä
S-Voima	5/2017	6/2018	Sähkökäyttäjä
Rejlers Oy	6/2017	-	Palvelunkehittäjä
Lappeenrannan teknillinen yliopisto	5/2017	-	Asiantuntija
Fingrid Oy	-	9/2018	Kantaverkkoyhtiö

Lisäksi olen hyödyntänyt kirjallista aineistoa, joka koostuu kokeilijoiden omista raporteista ja lehtiartikkeleista (liite 1). Kirjallinen aineisto on kerätty kokeiluun osallistuneiden tahojen tekemistä julkaisuista, kuten lehdistötiedotteista ja raporteista. Mukaan on otettu VTT:n, S-Ryhmän, Rejlers Oy:n ja Fingridin julkaisuja ja tiedotteita. Kirjallinen aineisto on kerätty käyttäen hakusanoja kuten Virtuaalinen palveluympäristö, Tuiran S-market ja kysyntäjousto. Lisäksi etsin kokeiluun osallistuneiden toimijoiden internetsivulta kysyntäjoustoan tai Virtuaaliseen palveluympäristöön liittyviä julkaisuja ja tiedotteita. Analysoitavaksi päätynyt kirjallinen aineisto koostui 10 julkaisusta. Ennen analyysia kokosin kirjallisen aineiston yhteen tiedostoon tekstin käsittelemisen helpottamiseksi. Seuraavassa kappaleessa käyn läpi koko tutkimusaineiston analysoinnin vaiheittain.

4.4 Analyysimenetelmä

Tapaustutkimuksen aineiston analyysiä on kritisoitu epäluotettavaksi, koska tutkijan rooli on olla aktiivinen tulkitsija (Erikson & Koistinen 2005). Olen pyrkinyt parantaman analyysin luotettavuutta avoimella kuvauksella sen eri vaiheista ja perustelen tekemäni valinnat. Tutkielman aineiston analyysimenetelmänä olen käyttänyt sisällönanalyysia, joka on laadullinen menetelmä tekstiaineistojen systemaattiseen ja objektiiviseen analysoimiseen. Sisällönanalyysi voi soveltaa vapaasti monenlaisia teoreettisia lähtökohtia. (Tuomi & Sarajärvi, 2008).

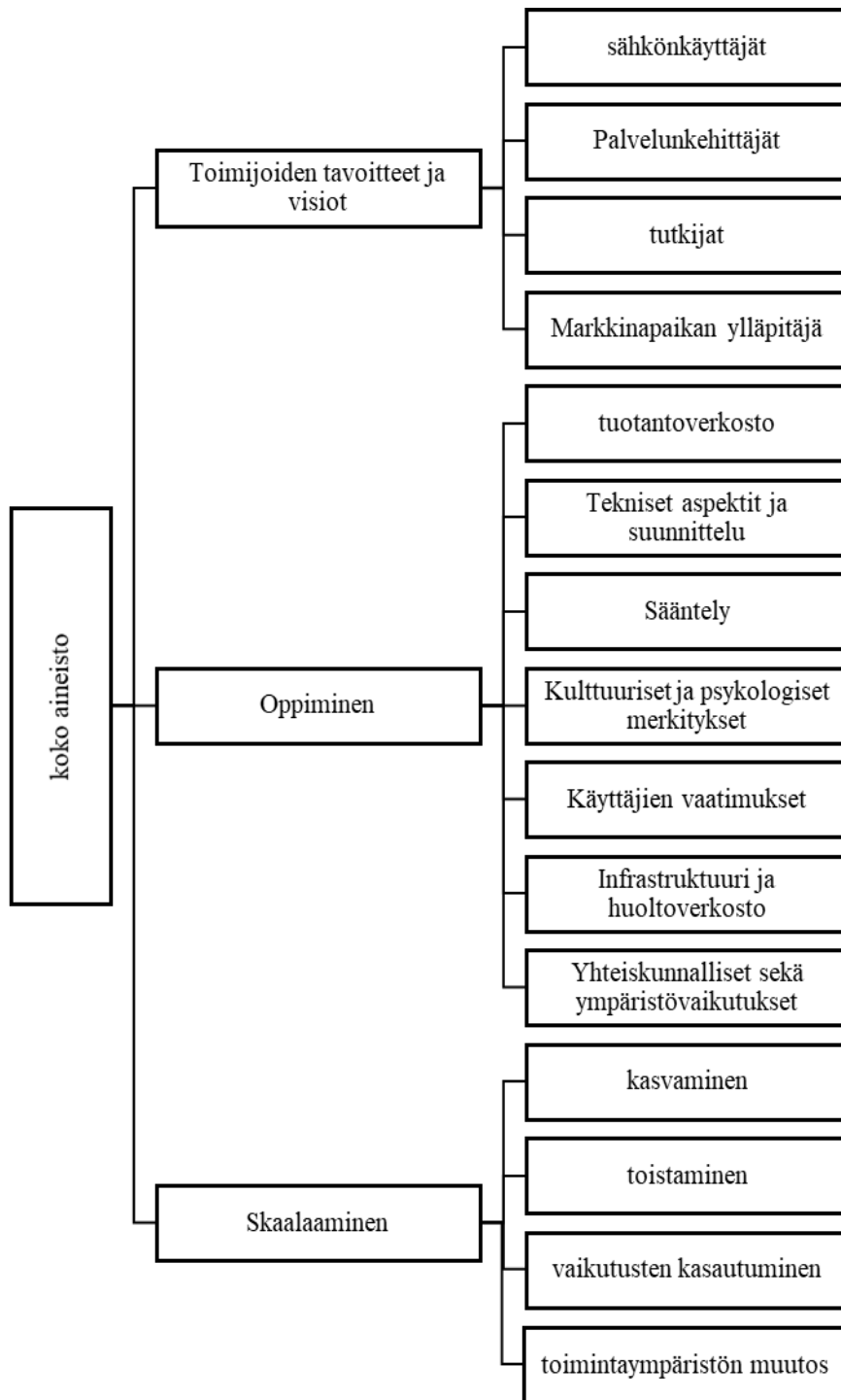
Aluksi kokosin kaiken aineiston (haastattelut ja verkkojulkaisut) tekstimuotoon analyysin helpottamiseksi. Analyysin ensimmäisessä vaiheessa pelkistin aineiston eli nostin sieltä tutkimuskysymysten kannalta merkityksellisimmät kohdat myöhempään tarkasteluun (Silvast 2014 s.37-38). Tässä kohtaa pyrin nostamaan aineistosta ne kohdat, jossa käsiteltiin erityisesti kokeilun kysyntäjoustoon liittyviä kysymyksiä. Jossain määrin oli luontevaa poimia aineistosta myös kohdat, jossa käsiteltiin yleisemmin kaupan energiajärjestelmää ja sähkölaitteita, kuten kylmälaitteita. Analyysin aikana aineisto herätti pohtimaan tutkimuskysymysten mielekkyyttä ja sen seurauksena pyrin tarkentamaan tutkimuskysymyksiä. Päädyin muuttamaan yhden tutkimuskysymyksen täysin, koska aineisto ei vastannut alkuperäiseen tutkimuskysymykseen.

Kysymysten asettelussa käytin kestävyysmurroksen ja erityisesti innovaatiopolkujen strategisen hallinnan tutkimuksissa kehitettyjä teoreettisia viitekehyksiä, joten hyödynsin samaa viitekehystä aineiston analysoinnissa. Teorialähtöisessä sisällönanalyysissä on teoreettisia kytkentöjä, jotka toimivat analyysin apuna (Tuomi & Sarajärvi 2008). Aikaisempaa tutkimusta sovelletaan uudessa kontekstissa (Yin 2009). Teorialähtöisen sisällönanalyysin lähestymistapaa kutsutaan myös deduktiiviseksi päättelyksi, jossa lähdetään liikkeelle laajoista kokonaisuuksista eli koodista (Silvast 2014). Teorialähtöinen sisällönanalyysi eroaa aineistolähtöisestä ja teoriaohjaavasta sisällönanalyysistä siten, että teoria ohjaa aineiston luokittelua (Tuomi & Sarajärvi 2008). Analyysin luokittelussa muodostin koodia, joiden perustana on innovaatiopolkujen strategisen hallinnan teoria (Kemp ym. 1998; Naber ym. 2017). Innovaatiopolkujen kokeiluissa on kolme tärkeää prosessia; tavoitteiden yhteensovittaminen, oppiminen ja verkostoituminen, joista verkostoituminen jäi tarkastelun ulkopuolelle (Kemp ym. 1998). Verkostojen sijaan analysoin kokeilun skaalautumista. Analyysi eteni kolmessa vaiheessa, koodi kerrallaan. Luokittelussa apuna käyttämäni koodauspuu kuvassa 4.3.

Vastatakseni ensimmäiseen tutkimuskysymykseen päätin analyysissäni teemoitella kokeiluun osallistuneiden toimijoiden tavoitteita toimijoiden roolien mukaan; tutkimus, sähkönkäyttäjät, palvelunkehittäjä, kantaverkkoyhtiö. Käytin toimijoiden roolien luokittelun muodostamiseen aikaisempaa tutkimusta sekä aineistoa. Päädyin jäsentämään toimijoiden tavoitteet toimijaryhmittäin, koska halusin vertailla tavoitteita ja visioita, joita eri toimijat kysyntäjoustoon liittivät. Käsittelin aineiston tarkemmin kysyen, miksi eri toimijat olivat lähteneet mukaan kokeiluun. Aineistossa toimijat nostivat esiin kysyntäjoustoon liittyviä haasteita ja avoimia kysymyksiä, joita kokeilun avulla haluttiin ratkoa. Samalla he kuitenkin rakensivat visioita siitä, millaisen tulevaisuuden sähköverkon kysyntäjousto mahdollistaa. Yhdistin tavoitteisiin myös kokeilijoiden kysyntäjoustoon liittämiä arvoja, koska myös ne kertoivat toimijoiden tavoitteista ja motiiveista kokeilussa. Teemoittelin tekstin tunnistuen merkityksiä joita toimijat liittivät kysyntäjoustoon.

Toiseen tutkimuskysymykseen lähdin vastaamaan teoreettisen viitekehyksen kautta, jonka teema oli kokeilusta oppiminen. Kokeilun myötä toimijoiden osaamisen oletetaan lisääntyneen. Erilaisten oppimiskokemusten ja merkitysten jäsentämiseen hyödynsin Kemp ym. (1998) artikulaatioprosesseja kuvaavaa luokittelua. Luokittelin toimijoiden oppimisen teorialähtöisesti seitsemään eri alaluokkaan. Analysoin mitä uutta toimijat olivat kokeilun avulla ymmärtäneet kysyntäjoustosta ja millaista artikulaatio prosessia toimijoiden kokemukset edustivat.

Kemp ym. (1998) mukaan verkostojen rakentaminen on tärkeä kokeilun sisäinen prosessi. Aineiston analyysin tarkentuessa jätin verkoston tarkastelun analyysin ulkopuolelle. Aineistoni ei sisällä haastatteluja kaikilta kokeilun toimijoilta vaan niiltä joiden rooli liittyi olennaisesti kysyntäjoustoon. Siitä johtuen, en voinut suppealla haastatteluaineistolla luotettavasti analysoida laajaa toimijaverkostoa ja sen keskinäisiä suhteita kaksivuotisen hankkeen ajalta. Nostin kolmanneksi teemaksi skaalautumisen, koska sen avulla voin tarkastella, miten toimijat soveltavat kokeilusta saamiaan oppeja ja kokemuksia kokeilun päätyttyä. Skaalaamiseen päädyin kirjallisuuden pohjalta, josta poimin teemoittelun alaluokiksi aiemmassa tutkimuksessa (Naber ym. 2017) käytetyt käsitteet; kasvaminen, toistaminen, kasautuminen ja toimintaympäristön muutos. Kolmannen tutkimuskysymyksen kautta pääsin tarkastelemaan, millainen vaikutus kokeilulla on ollut toimijoiden omassa organisaatiossa ja onko kokeilu onnistunut vaikuttamaan laajemmin vallitsevaan toimintaympäristöön. Innovaatiopolkujen kokeilut voivat vaikuttaa toimintaympäristöön myös muokkaamalla valintaympäristöä tai parantamalla teknologian kilpailukykyä (Naber ym. 2017). Viimeisessä teemoittelussa kävin aineiston läpi koodaamalla tekstistä kohdat, joissa toimijat puhuivat kokeilun jatkamisesta tai tulevista hankkeista.



Kuva 4.3. Koodauspuu kuvaa laadullisen aineiston teemoittelua kolmen koodin avulla. Jokainen koodi jakautuu alaluokikseen. Teemoittelu perustuu innovaatiopolkujen strategisen hallinnan teorioihin kokeilun sisäisistä prosesseista ja skaalautumisesta (Kemp ym. 1998; Naber ym. 2017).

5. Kokeilun tuloksia

Tässä kappaleessa käyn läpi aineiston analyysistä nousseet tulokset. Luvussa 5.1 kokeilun tavoitteet on jäsennetty toimijaryhmittäin. Jäsennyksen avulla tarkastelen, miten toimijat ovat sanallistaneet tavoitteitaan ja millaisia visioita kysyntäjoustoon liitetään. Luvussa 5.2 olen analysoinut toimijoiden esille tuomia oppimiskokemuksia, joita jäsennän kirjallisuudessa esiintyvän luokittelun avulla (Kemp ym. 1998). Luvussa 5.3 analysoin haastateltavien näkemyksiä kokeilun skaalaamisesta kokeilun päättymisen jälkeen. Jokaisen alaluvun lopussa on yhteenveto, johon on tiivistetty tärkeimmät tulokset kuva- tai taulukkomuodossa.

5.1 Kokeilun tavoitteet

Odotusten kirkastaminen ja jakaminen on todettu tärkeäksi innovaatiopolkujen kehityksessä, minkä vuoksi niitä tarkastellaan myös kokeilujen arvioinnissa. Odotusten kirkastaminen suuntaa oppimisprosessia, herättää kiinnostusta ja tukee innovaatiopolun kehitystä (Kemp ym. 1998). VIRPA-B –kokeilussa oli monipuolinen toimijaverkosto, joten on mielekästä vertailla, millaisia tavoitteita toimijat tuovat esiin ja millaisia visioita he kysyntäjoustoon liittävät. Toimijat olen ryhmitellyt seuraavasti: sähkökäyttäjää edustavat S-Voima ja Osuuskauppa Arina, jotka ovat molemmat osa S-Ryhmää. Kysyntäjoustopalveluiden kehittäjä on Rejlers Oy, joka tarjoaa tieto- ja viestintäteknologioita sekä palveluita rakentamiseen ja energianhallintaan. Tutkijan roolissa on Teknologian tutkimuskeskus VTT. Neljäs toimija on kantaverkkoyhtiö Fingrid Oy. Odotusten ja visioiden tarkasteluun jäsensin tavoitteet toimijoitten roolien perusteella, koska sen avulla pystyin tarkastelemaan, kuinka yhtenäisiä tavoitteita kokeilun toimijoilla oli ja miten ne erosivat toisistaan.

5.1.1 Sähkökäyttäjän näkökulma

S-Ryhmälle kokeilu on osa pitkää kehitystyötä päivittäistavarakauppojen energiajärjestelmien kehittämiseksi. VIRPA-B –kokeilussa sovellettiin aiemmista kokeiluista ja rakennushankkeista saatuja oppeja. Suuren sähkökäyttäjän, kuten tässä tapauksessa päivittäistavarakauppaketjun

näkökulmasta kiinnostavaa oli päivittäistavarakaupoissa olevien sähkölaitteiden kysyntäjoustokapasiteetti. Uutena tutkimuskohteena kokeilussa olivat kylmälaitteet. Aikaisemmin kylmälaitteiden käyttöä kysyntäjoustossa ei ole kokeiltu niihin liittyvän taloudellisen riskin takia. Kylmälaitteet vastaavat noin 60 % kaupan energiankulutuksesta ja siksi niiden säätämällä voidaan merkittävästi vähentää sähkönkulutusta hetkellisesti. Kylmälaitteiden tuntemisen myötä kaupassa pystytään tarkemmin arvioimaan koko päivittäistavarakaupan kysyntäjoustokapasiteetti. S-Voiman edustajan mukaan kylmälaitteiden toimintaa ei kuitenkaan haluta vaarantaa, koska siitä voisi aiheutua ongelmia kaupan ydintoiminnalle ja maineelle. Tästä huolimatta niissä uskottiin olevan merkittävää potentiaalia verrattuna päivittäistavarakaupan muihin sähkölaitteisiin:

”Siellä nimenomaan tutkitaan tätä kylmälaitteitten säätövaraa missä me itsekkin uskotaan, että siellä on varmaan se suurin potentiaali” S-Voima 2018

”Mietitään että pystytäänkö me esimerkiksi kylmätekniikka panemaan kiinni joksikin aikaa nopealla varotusajalla” Arina 2017

”Kaikissa marketeissa kylmälaitteita on ja sieltä varmaan jotain löytyy, kun vaan löydetään joku järkevä tapa, että miten sitä pystytään sitten todentamaan. Että minkä verran sitä säädettävää kapasiteettia on” S-Voima 2018

Haasteeksi S-Ryhmän aiemmissa kokeiluissa on osoittautunut kysyntäjoustopotentiaalin todentaminen. Sähkölaitteiden kulutus heilahtelee lyhyelläkin aikavälillä paljon. Kun samaan aikaan seurataan usean sähkölaitteen kulutusta päivittäistavarakaupassa, on hankala todeta kysyntäjoustopotentiaalin todellinen osuus kaikesta sähkönkulutuksesta. Kulutuksen vaihtelun vuoksi kysyntäjoustopotentiaalin arvioiminen on ollut haasteellista. Miten säätö mitataan vaikuttaa suoraan siihen, kuinka paljon kapasiteettia päivittäistavarakaupassa on. Seuraavat lainaukset konkretisoivat ongelmaa S-Voiman näkökulmasta:

”Sanotaan että vaikka säädät sata kilowattia. Sitten jos se kulutus heiluu kylmälaitteitten takia, vaikka kaksisataa kilowattia ja on useampi, kohde, joista vaikka viittä vaan säädetään ja toiset viis elää omaa elämäänsä, niin, millä ihmeellä todennat sen että, onko oikeasti tapahtunut säätöä, kun toiset menevät kulutus ylöspäin ja toiset pitäisi mennä alaspäin.” S-Voima 2017

”Miten se sitten määritellään, kun se käyrä (sähkönkulutus) elää kuitenkin jonkin verran. Niin miten se määritellään et paljonko se kapasiteetti sitten on mitä voidaan markkinoille tarjota.” S-Voima 2018

S-Voiman aiemmissa kokeiluissa on havaittu, että kysyntäjousto sähköntuntihintaa vasten ei ole nykyisen joustokapasiteetin ja sähkönhinnan staattisuuden takia taloudellisesti kannattavaa. Tuntihintaa vasten tehtävä kysyntäjousto edellyttäisi nykyistä suurempaa sähkön hintavaihtelua. Suuren sähkönkäyttäjän näkökulmasta sähkönhinnan vaihtelun lisääminen ei kuitenkaan ole oikea keino edistää kysyntäjoustoa, koska se lisää epävarmuutta ja kustannuksia. Aiempien kokeiluiden pohjalta S-Ryhmässä on todettu, että kysyntäjousto olisi taloudellisesti kannattavaa vain säätösähkö- ja reservimarkkinoilla. Sähkömarkkinoilla sähkönkäyttäjän on mahdollista ansaita rahaa sen mukaan, kuinka paljon se kykenee tarjoamaan kysyntäjoustokapasiteettia ja millaiset markkinapaikan säännöt ovat. Sähkömarkkinoilta saatavilla korvauksilla voidaan vähentää energiakustannuksia kiinteistössä. Useasta päivittäistavarakaupasta saatava kysyntäjousto voitaisiin S-Voiman edustajan mukaan yhdistää isommaksi virtuaalivoimalaksi ja sen kapasiteettia voitaisiin tarjota sähkömarkkinoille:

” Se potentiaali meillä on, kun meillä on 1 600 kiinteistöä niin, ne pitäisi vaan poolata kaikki yhteen ja, sitä kautta. Pienistä puroista ne tulee.” S-Voima 2017

Edellisistä kokeiluista huolimatta kysyntäjousto on vielä kokeiluasteella. VIRPA-B –kokeilussa tavoitteena on löytää kustannustehokas toimintamalli, jolla kysyntäjoustoa voisi laajemmassa mittakaavassa toteuttaa koko S-Ryhmän kiinteistökannassa. Suuren sähkönkäyttäjän päätöksillä voi olla vaikutusta sähköjärjestelmään kansallisellakin tasolla.

Sähkölaskun pienentyminen on suuren sähkönkäyttäjän näkökulmasta kysyntäjoustokokeiluiden tärkein tavoite ja syy investoinneille. Arinassa päivittäistavarakauppojen energiajärjestelmiä kehittämällä on jo saavutettu säästöjä ja VIRPA-B –kokeilussa kehitystyö vietiin askel pidemmälle. Kokeilussa kohteena oli päivittäistavarakauppa, jonka energiajärjestelmässä yhdistyvät aurinkosähköntuotanto, maalämpökaivot, energiatehokkuus ja kysyntäjousto. Uusiin energiaratkaisuihin investoiminen on Arinan ja S-Voiman edustajien mukaan myös taloudellisesti kannattavaa:

” Nyt me puhutaan semmoisista asioista että, näillä on oikeasti merkitystä. Näitä kannattaa tehdä sen takia, kun näillä säästää oikeasti rahaa.” Arina 2017

”Ja, se keskeinen syy on se että, meidän tehtävä on koko ajan yrittää keksiä keinoja siihen et miten me saadaan pienennettyä S-Ryhmän maksamaa sähkölaskua. Se voi olla joko, tekemällä säästötoimenpiteitä tai miettimällä keinoja et voisit ansaita rahaa. Nämä kaks vaihtoehtoo niin kysyntäjousto on siinä yks keskeinen elementti.” S-Voima 2017

Kysyntäjousto on houkutteleva keino säästää energiakustannuksissa, mutta sen lisäksi sillä nähdään muitakin hyötyjä. Suuren sähkönkäyttäjän näkökulmasta kysyntäjousto kytkeytyy laajemmin kestävä kehityksen tavoitteisiin ja sähköjärjestelmän muutokseen, jossa omalla osaamisellaan yritys voi olla aktiivisempi toimija sähkömarkkinoilla sekä toimia vastuullisemmin:

”Se on huomattavasti edukkaampaa kuin että rupeaisit erikseen rakentamaan uusia voimalaitoksia. Sen takia me uskotaan siihen. Se on jollakin tavalla myös se tulevaisuus, että kuluttajat pystyvät joustamaan ja auttamaan sitten sähköjärjestelmää.” S-Voima 2018

”Sähkön kulutuksen optimoiminen sekä sähkön hinnan, että sähköverkon kapasiteetin mukaan on yksi esimerkki S-Ryhmän tavasta käyttää energiaa harkitusti ja hyvinvointia sekä kestävä kehitystä edistävällä tavalla. Merkittävänä uusiutuvan ja sääriippuvaisen energian tuottajana meillä on myös omalta osaltamme vastuu vaimentaa oman tuotantomme aiheuttamaa säätötarvetta.” S-Ryhmän Vuosikatsaus 2015

5.1.2 Kysyntäjoustopalvelun kehittäjän näkökulma

Kysyntäjoustopalvelun ympärille on muodostumassa uudenlaisia palveluita kiinteistöjen sähkönkulutuksen ohjaamiseksi. Pienten ja keskisuurten sähkönkäyttäjien osallistuminen markkinoille avaa mahdollisuuksia uusille toimijoille. Kysyntäjoustopalvelua kehittävän Rejlersin mukaan kysyntäjousto on kiinteistön energiahallintapalveluiden alalla runsaasti keskustelua herättävä aihe. Kokeilun kautta halutaan kehittää osaamista yrityksen sisällä sekä samalla tarkkailla koko kentän kehitystä uusista kysyntäjoustokohteista markkinoiden sääntelyyn. VIRPA-B –kokeilun avulla pyritään muodostamaan liiketoimintakonsepti kaupalliseen käyttöön:

”Mietitään sitä arvoverkostoa et millä tällöinen voitais toteuttaa. Ja se että miten se, kokonaisuus muodostuu. Se on hyvin laaja kokonaisuus, että mikä on kunkin osapuolen motiivi ja toisaalta sitten mahdollisuudet olla mukana siinä.” Rejlers 2017

”Meille tietysti merkittävä kaikin puolin on tämä, säätövoimapuolen kehitys kaiken kaikkiaan ja, just et miten tavallaan tämä virtuaalinen palveluympäristö ja myöskin tämä markkina tässä ympärillä kehitty.” Rejlers 2017

Haastateltavan mukaan liiketoimintamallinkehittäjällä on oltava ymmärrys kiinteistön energiajärjestelmän mittaamisesta ja ohjaamisesta. Kysyntäjoustopalveluiden säännöt määrittelevät sen millaista sähkönkulutuksen mittaamista kiinteistössä vaaditaan ja millaisia

kysyntäjoustotuotteita kiinteistön säätövoimasta voidaan muodostaa. Rejlersin edustajan mukaan kokeilussa tutkimuskohteina olevat päivittäistavarakaupat tarjoavat mielenkiintoisen testikohteen sähkönkulutuksen säätämisen ja aggregoimisen tutkimiselle:

”Tietysti se, että kun säädetään energian käyttöä niin se että, voidaanko sitä säätää tietyllä ajan hetkellä ja kuinka pitkään sitä voidaan säätää.” Rejlers 2017

”Et siinä mielessä se on tosi mielenkiintoinen et nähdään tavallaan se vanhan sukupolven, kauppa mitä tulee kuitenkin vielä olemaan kymmenen vuotta. Vaikka se nyt uudistuukin tietysti pikkuhiljaa mut se, siellä on vielä, monta vuotta et niitä tulee olemaan siinä. Nii et tavallaan nähdään se vanha sukupolvi ja uus sukupolvi ja voidaan niitä verrata keskenään ja, sitte toisaalta, siinä on kuitenkin satoja vastaavia kauppvoja sitten, näitä vanhoja niin, se luo mielenkiintoisen mahdollisuuden myöskin tavallaan miettii sitä et, jos se, jos sitä saadaan aggregoitua niin miten se silloin toimisi ja, se säätö ja... Et se on se.” Rejlers 2017

Myös palvelunkehittäjä uskoo kysyntäjoustopuoleen lisääntyvän tulevaisuudessa. Sähköntuotannon muutokset heijastelevat koko sähköjärjestelmään, minkä myötä avautuu uusia mahdollisuuksia energianhallintaan erikoistuneille yrityksille. Liiketoimintana sähkölaitteiden kulutuksen aggregointi on vasta kehitysvaiheessa, mikä näkyy lainsäädännön ja markkinasääntöjen kehittymisenä ja kysyntäjoustopuoleen liittyvinä epävarmuustekijöinä. Tästä huolimatta kysyntäjoustopuoleen kokonaisvaltainen ymmärtäminen nähdään tärkeänä tulevaisuuden liiketoiminnan kannalta. Kysyntäjoustopuole on ajankohtainen myös Suomen markkinoiden ulkopuolella ja mahdollista on, että lähitulevaisuudessa kysyntäjoustopuolemarkkinat avautuvat palveluntarjoajille ensin jossakin muualla. Rejlers näki VIRPA-B-kokeilun hyväksi testialustaksi kansainvälisiä markkinoita silmällä pitäen:

”Mutta kyllä tämä, on selvästi, tulevaisuuden asia. Et samalla kun Suomessakin sähkömarkkinalla, kun ne, sähkötuotantotekniikat muuttuvat enemmän, tavallaan sykliseksi niin se, kysyntäjoustopuole sitten tietysti on semmoinen mikä on hyvin, hyvin paljo alalla keskustellaan tällä hetkellä. Et siinä mielessä kyllä tämä meille on tosi mielenkiintoinen harjoitus.” Rejlers 2017

”Et tässä ehkä haetaan just sitä, että miten Suomessa ja sitten myöskin meillä on tämä kansainvälinen aspekti tässä mukana, et tutkitaan sitten pohjoismaisia markkinoita ja näitä lähialueita, muita maita myöskin. Et näissä saattaa olla, että se avautuu se markkina ensin sitten jossain muualla, kun Suomessa.” Rejlers 2017

5.1.3. Tutkijan näkökulma

Tutkimuskeskuksen edustajan näkökulmasta sähköjärjestelmän muutos on johtamassa uudenlaiseen tilanteeseen, jossa säätövoiman tarve kasvaa. Sähköjärjestelmän joustoa voidaan lisätä joko uutta kapasiteettia rakentamalla tai kysyntäjouaston avulla. Sähkömarkkinoiden murroksen ja digitalisoitumisen myötä kysyntäjouaston tutkiminen on ajankohtaista. VTT:n visiona on, että kiinteistöt voisivat osallistua sähköverkon tasapainon hallintaan. VIRPA-B –kokeilun lisäksi VTT:llä on muitakin hankkeita, joissa tutkitaan rakennusten kysyntäjoustokapasiteettia. Tutkijoita kiinnostaa voidaanko samaa konseptia soveltaa useihin eri kiinteistöihin. Tutkimuksen avulla pyritään kartoittamaan, miten rakennukset saataisiin osaksi sähköjärjestelmän tasapainon hallintaa. Siinä missä uuden säätövoiman rakentaminen on kallista, kysyntäjousto voidaan tehdä pienemmillä kustannuksilla nykyistä rakennuskantaa kehittämällä. Seuraavat sitaattit avaavat tutkijan näkökulmaa:

”Se tämä juttu tässä on se, että meillä säätövoimakysyntä kasvaa, lähivuosina sen takia että me rakennetaan ydinvoimaloita ja tuulivoimaloita. Jotka lisäävät säätövoiman tarvetta. Ja sitten kolmanneksi meillä poistuu, säätövoimaan käytettyjä lauhdevoimaloita 2 500 megawattia lähtee pysyvästi pois verkosta lauhdevoimaa ja muuta voimaa, koska sitä ei kannata ylläpitää nykyisillä energianhinnoilla. Niin näitten korvaamiseksi tarvitaan lisää säätövoimaa ja sen takia kysyntää tuolla markkinoilla on uusille toimijoille.” VTT 2017

”Me ollaan tuomassa siihen sitten uuden komponentin, joka on tällainen aggregoitu säätövoima joka aggregoidaan pienistä yksiköistä.” VTT 2017

”Nyt puhutaan liikekiinteistöistä, niin on tarkoitus miettiä, että voidaanko samoja konseptia, jotka siellä toimivat niin sitten soveltaa myös jossakin muussa kiinteistöryhmässä.” VTT 2017

Kokeilulla tavoitellaan käytännön tietoa siitä, mitä liikekiinteistöissä on mahdollista tehdä: Miten sähkölaitteita voidaan säätää ja miten pitkäksi aikaa? Rakennusten tuntikohtainen sähkönkulutustieto ei pelkästään riitä kapasiteetin arvioimiseksi vaan sen selvittämiseksi tarvittiin tarkempaa mittausjärjestelmää, joka suunniteltiin osaksi päivittäistavarakaupan energiajärjestelmää. VTT:n tavoitteena on mallintaa sähkönkulutusta niin, että kiinteistö automaattisesti säätäisi sähkönkulutusta ilman, että se vaikuttaisi kaupan toimintaan:

”Virtuaalinen palveluympäristö (VIRPA) –hankkeessa selvitetään, miten muuttaa osa rakennuskannasta säädettäväksi niin, että rakennus pystyy kertomaan itse, paljonko kulutusta voidaan säätää ylös tai alas tietyn ajan kuluessa.” VTT 2016

VTT:n osalta kokeilun alkuvaiheessa kiinnostus kohdistui kiinteistöjen teknisiin ominaisuuksiin. Kokeilussa oli mukana kaksi kohdetta, uusi energiatehokas päivittäistavarakauppa ja vanha standardi päivittäistavarakauppa. Standardikohteen kaltaisia päivittäistavarakauppoja S-Ryhmällä on satoja, joten kokeilun tuloksien skaalauspotentiaali on merkittävä. Uudessa kohteessa oltiin kiinnostuneita myös uuden energijärjestelmän toiminnasta, kuten aurinkopaneelien, kylmlaitteiden ja kysyntäjoustopuhteensovittamisesta:

”Ja sitten toinen on tällöinen, jota nyt mietitään, että kannattaako vanhempaan kauppaan joita on noin 600 kappaletta. Niitten elinkaari on noin 10-15 vuoteen enää. Kannattaako niihin laittaa tällöisiä (kysyntäjoustopuhteen) järjestelmiä.” VTT 2017

”Eli se on uusi ja siinä on otettu huomioon kaikki ne aikaisemmista opitut parannukset. Siihen tosiaan sitten me suunniteltiin aurinkovoimala lisäksi, haluttiin sen ominaisuudet sitten mitata ja paremmin oppia tuntemaan, että miten se vaikuttaa energiataseeseen” VTT 2017

Toinen tutkimusnäkökulma on kysyntäjoustopuhteen ympärille avautuvat uudet taloudelliset mahdollisuudet. Kysyntäjoustopuhteen nähdään potentiaalisia ansaintamahdollisuuksia kantaverkkoyhtiö Fingridin ylläpitämällä markkinapaikoilla. Kokeilun aikana selvitetään, millaisia kysyntäjoustopuhteen tuotteita päivittäistavarakaupan sähkönkulutusta säätämällä voidaan saada ja onko kysyntäjoustopuhteen tarjoaminen markkinoille kannattavaa. Kysyntäjoustopuhteen arvo määräytyy vasta sähkömarkkinoilla.

”Säätövoiman potentiaalinen arvioiminen on sikäli hankalaa, että se on tällöinen markkinatuote. Siis se pörssiosake. Ja tuotteen arvo riippuu päivittäisestä kysynnästä siellä markkinoilla tai siitä vaihdosta.” VTT 2017

”Joo ja siinä on taustalla se että, kun se on niin tosi, tosi arvokasta se säätövoima ajoittain. Niin jos pääsee tarjoamaan tähän säätövoimamarkkinaan, niin sun investointien takaisinmaksuaika lyhenee rajusti.” VTT 2017

5.1.4. Markkinoiden ylläpitäjän näkökulma

Kokeilut ovat markkinapaikkoja ylläpitävälle kantaverkkoyhtiölle keino viestiä kysyntäjoustosta uusille joustokohteille, kuten pienille ja keskisuurille yrityksille sekä kotitalouksille. Sähkönkuluttajilla voi olla ohjattavaa sähkökuormaa, mutta ne eivät välttämättä tiedä, että kulutusta voisi ohjata tai miten ne voisivat osallistua sähkömarkkinoille. Sähkökäyttäjien ja palveluntarjoajien kanssa kantaverkkoyhtiö kehittää toimivia ratkaisuja, joilla lisätään kulutuksen joustoa reservi- ja säätösähkömarkkinoilla. Kantaverkkoyhtiön tavoitteena on löytää uusia joustokohteita, koska jouston tarve sähköjärjestelmässä vaihtelee esimerkiksi kymmenistä sekunneista muutamiin minuutteihin:

”Ja tietysti meille on tärkeää, että niitä palveluita on tarjolla, eli on näitä uusia kohteita, jotka voi sitä joustoa tarjota. Mutta sitten mitä useampia on näitä osapuolia, niin saadaan sinne markkinoille vähän kilpailua, että saadaan pidettyä näiden palveluiden hinnat sellaisina kohtuullisina. Että siinä ei ole (jotta siitä ei aiheutuisi) kustannuspaineita meidän asiakkaita kohtaan, joita on siis kaikki suomalaiset sähkökäyttäjät ovat välillisesti meidän asiakkaita.” Fingrid 2018

Kantaverkkoyhtiössä nähdään, että sähkömarkkinoihin kohdistuu muutospainetta. Uudet sähköntuotantoratkaisut ovat laskeneet sähköntuotannon hintaa, minkä myötä markkinoilta poistuu säädettävää tuotantoa. Kantaverkkoyhtiö on kiteyttänyt Tulevaisuuden sähkömarkkina –visiossa strategian kolmeen teemaan: sähkökäyttäjien roolin vahvistamiseen, markkinapaikkojen mukauttaminen sähköntuotantoprofiiliin muutokseen sekä markkinatoimijoiden aktiiviseen verkon tasapainottamiseen (Fingrid 2016). Tulevaisuuden visiossa sähkömarkkinat palkitsevat aktiivisia ja joustavia sähkökäyttäjiä, kun taas muut maksavat sähköstään enemmän. Sama kannustin tulee koskemaan myös joustamatonta tuotantoa. Kysyntäjousto nähdään markkinalähtöisenä ja kustannustehokkaana toimintamallina, joka mahdollistaa siirtymisen vähäpäästöiseen sähköjärjestelmään:

”Fingridin visiossa tulevaisuuden sähköjärjestelmä on vihreä, valoisa ja kohtuuhintainen” Fingrid 2016

”Suomessa suurteollisuus on jo pitkään toiminut aktiivisesti sähkömarkkinoilla ja mukauttanut sähkönkulutusta hintasignaalin ohjaamana. Vihreässä sähköjärjestelmässä tämä ei kuitenkaan yksin riitä, vaan yhä useamman sähkön kuluttajan on kyettävä mukauttamaan sähkökäyttöään sään mukaan vaihtelevaan tuotantoon.” Fingrid 2016

5.1.5. Yhteenveto

Aineistosta voi havaita, että kokeilun toimijoiden tavoitteet olivat samansuuntaisia. Tärkeimpinä tavoitteina esiin nousivat päivittäistavarakaupan kysyntäjoustokapasiteetin selvittäminen sekä markkinatilanteen parempi tuntemus. Taustalla on toimijoiden pyrkimys kehittää liiketoimintaa kysyntäjouaston ympärille.

Kokeilijoiden kysyntäjoustovisioille yhteistä on ympäristöystävällisyys, markkinalähtöisyys ja kustannustehokkuus. Kysyntäjousto nähdään toimijoiden keskuudessa osana tulevaisuuden sähköjärjestelmää, jossa suuri osa sähköstä tuotetaan uusiutuvilla ja sääolosuhteista riippuvaisilla energianlähteillä. Säättövoimalaitosten rakentamisen sijaan toimijat haluavat välttää uusien laitosten rakennuskustannukset ja tasapainottaa sähköverkkoa olemassa olevan infrastruktuurin ohjattavalla sähkönkulutuksella. Markkinaehtoisuus nähdään hyvänä asiana, koska silloin toimijat voivat itse hakea liiketoimintaansa sopivia ratkaisuja ilman, että kysyntäjoustoa edistetään pakkokeinoin. Toimijoiden näkökulmasta kysyntäjousto on kustannuksiltaan edullisempaa kuin uuden säädettävän sähköntuotannon rakentaminen, jonka maksajiksi haastateltavien mukaan joutuisivat kaikki sähkönkäyttäjät. Toimijoiden mukaan rakennuskannassa oleva potentiaali saadaan käyttöön tietoliikenteen ja sähkötekniikan ratkaisujen yhteensovittamisella. Yhteenveto toimijoiden tavoitteista ja yhteisestä visiosta on tiivistetty taulukkoon 5.1.

Taulukko 5.1 Yhteenveto toimijoiden tavoitteista ja visiosta

Toimija	Tavoitteet	Visio
Sähkökäyttäjä	Kysyntäjoustokapasiteetin tutkiminen, Kysyntäjoustomarkkinoille pääseminen ja energiakustannusten laskeminen,	Ympäristöystävällinen, markkinaehtoinen ja kustannustehokas sähköjärjestelmä jossa kulutus ja tuotanto joustaa
Palvelunkehittäjä	Kysyntäjoustopalvelumallin kehittäminen	
Tutkija	Selvittää millaista kysyntäjoustokapasiteettia kiinteistöissä on ja miten kiinteistöissä olevia kysyntäjousto voidaan aggregoida sähkömarkkinoille	
Markkinapaikan ylläpitäjä	Uusien kulutuskohteiden osallistuminen sähkömarkkinoille	

5.2 Kokeilusta oppiminen

Tässä kappaleessa analysoin toimijoiden oppimista VIRPA-B –kokeilun aikana. Kokeilujen tavoitteena on kehittää teknologiaa ja toimintamalleja, jotta uudet ratkaisut voisivat paremmin kilpailla markkinoilla (Kemp 1998). Oppimalla teknologian tarpeista, haasteista ja mahdollisuuksista voidaan edistää teknologian käyttöönottoa. Tässä esitettävät tulokset on jäsennetty sosioteknisen oppimisen eri ulottuvuuksien mukaan, joita nimitetään myös artikulointiprosesseiksi. Kemp ja kollegat (1998) ovat listanneet seuraavat oppimisprosessin ulottuvuudet tärkeiksi uuden teknologian kehityksessä: tuotantoverkosto, tekniikka ja suunnittelu, sääntely, kulttuurinen ja psykologinen merkitys, markkinat, infrastruktuuri sekä yhteiskunnalliset ja ympäristövaikutukset. Artikulointiprosessin kautta teknologia nivotaan osaksi sosioteknisen järjestelmän valintaympäristöä (Schot & Geels 2008). Luokittelen tulokset oppimisprosessin kategorioiden avulla. Oppimisprosessien luokittelu seitsemään eri kategoriaan ei ole yksiselitteistä ja analyysissä olen käyttänyt omaa tulkintaani tulosten luokittelussa. Olen ottanut vapauden myös järjestää ulottuvuudet niin, että tulosten tarkastelu etenisi loogisesti.

5.2.1 Teollisuus ja tuotantoverkosto

Teollisuus ja tuotantoverkoston avulla tarkastelen laajemmin kysyntäjoustop käytöstä seuraavia muutoksia sähkömarkkinoilla. Toistaiseksi sähkömarkkinoilla olevat kulutuskohteet ovat olleet lähinnä suuria teollisuuslaitoksia, joten kysyntäjoustop lisääminen edellyttää uusia toimintamalleja. Kokeilun toimijoiden vastausten perusteella kysyntäjoustopmarkkinan kehittäminen on monimuotoinen kokonaisuus, jossa vaaditaan niin sähkökäyttäjien vaatimusten kuin markkinapaikkojen reunaehtojen tuntemista ja teknologiaosaamista. Kysyntäjoustopiin osallistuu useita toimijoita, joiden intressien yhteensovittaminen on osa uuden toimintamallin rakentamista. Kysyntäjoustop avaa nykyisille toimijoille uusia mahdollisuuksia sähkömarkkinoilla. Kysyntäjoustoppalveluiden uskotaan uudistavan nykyisiä sähköjärjestelmän toimintamalleja ja tuovan sähkökäyttäjille lisää palveluita. Kokeilun loppupuolella tehdyn markkina-analyysin perusteella nykyiselle markkinalle on tulossa myös uusia toimijoita, jotka eivät itse tuota sähköä vaan tarjoavat sähkökäyttäjien kysyntäjoustop sähkömarkkinoille. VTT:n edustajan mukaan sähkömarkkinat ovat muutoksessa:

”On näköpiirissä, että kun tilanne on aika staattinen, niin on tulossa uusia toimijoita markkinoille, jotka hakee ja kokeilee onko markkinoilla sellaiselle disruptiiviselle pelaajalle tilaa tulla kentälle ja ottaa sieltä rahaa.” VTT 2018

”Se on se suurin muutos, että ennen kuluttaja vaan sai sähkölaskun ja maksoi sen ja nyt kuluttaja on aktiivisena toimijana ja kuluttaja tuottaa aktiivisesti vastetta jota käytetään markkinoilla.” VTT 2018

Kokeilujen tarkoituksena on yhdessä eri toimijoiden kesken löytää toimivia ratkaisuja. Toisaalta suuren sähkönkäyttäjän mukaan sähköjärjestelmän muutoksessa ei ole tarpeeksi huomioitu sähkönkäyttäjien näkökulmaa. Yhteistyöstä huolimatta sähkönkäyttäjän kokemus on, että vakiintuneet toimijat eivät ole valmiita rakentamaan uusia toimintamalleja, jotka mahdollistaisivat sähkönkäyttäjät osallistumisen sähkömarkkinoille tasavertaisesti tuotantolaitosten kanssa. Vaikka sähkönkäyttäjien rooli on muuttumassa niiden voi olla vaikea kilpailla vakiintuneiden toimijoiden kanssa sähkömarkkinoilla. Kokeiluja analysoimalla voidaan tarkastella toimijoiden näkemyseroja sähköjärjestelmän kehityksestä.

5.2.2. Tekniset näkökohdat ja suunnittelu

Kokeilun aikana suunnitelmat muuttuivat ja kehittyivät. Suurimpana muutoksena oli logistiikkakeskuksen korvaaminen toisella päivittäistavarakaupalla, mikä muutti kokeilun asetelmaa. Suunnitelmien kehittyminen nähtiin kuitenkin osana kokeilun oppimisprosessia:

”No kyllä mun mielestä se suunnitelma siinä mielessä kehittyy koko ajan ja tämän tyyppisessä hankkeessa myöskin pitää kehittyä. Et yritetään oppia sitten matkan varrella.” Rejlers 2017

”Sanotaanko näin, että koko ajan me on muutettu suunnitelmia. Ja sitten joudutaan aina vähän improvisoimaan sen mukaan, että mikä on tilanne.” Arina 2017

Kysyntäjoustopon mahdollistava teknologia hyödyntää niin sähkötekniikkaa kuin tieto- ja viestintäteknologiaa. Kysyntäjousto vaatii reaaliaikaista tietoa laitteiden sähkökulutuksesta. Molemmissa kohteissa seurattiin sähkökulutusta IoT-teknologian avulla minuuttitasolla. IoT-teknologia eli tavaroiden internet, mahdollisti sähkölaitteiden energiankulutuksen seuraamisen etänä reaaliaikaisesti. Sähkölaitteet ovat yhdistetty pilvipalveluun, jonne tieto sähkökulutuksesta tallentui. Kokeilussa energiatehokkaaseen päivittäistavarakauppaan asennettiin rakennusvaiheessa sähkökulutuksen mittausjärjestelmä. Verrokkikohteeseen asennukset on tehty jälkikäteen, koska

kysyntäjouaston tutkiminen vaati tarkempaa sähkötalutustietoa kuin päivittäistavarakaupan alkuperäisillä sähkömittareilla voitiin saada.

Kokeilussa mukana olleiden toimijoiden mielestä teknologia ei rajoita kysyntäjouaston käyttöönottoa. S-Voiman edustajan mukaan kysyntäjoustoproteknologiaa on jo testattu aikaisemmin ja nykyinen teknologia mahdollistaa kysyntäjoustopon osallistumisen. Palvelun kehittäjän mukaan kokeilun aikana opittiin paljon siitä, miten nykyinen teknologia ja ohjelmistot saadaan soveltumaan kiinteistöjen kuormien ohjaukseen niin, että siitä saadaan uutta liiketoimintaa:

”Et en tiedä onko tämä nyt suoraan tavallaan mullistavan uutta tekniikkaa, vaan se on enemmän sitä, että, nykyinen tekniikka ja uudet ohjelmistot ja muut, saataisi sovitettua tämän tyyppiseen liiketoimintaan.” Rejlers 2017

Kokeilun aikana kuitenkin ilmeni, että kysyntäjoustopon vaadittavien mittausinstrumenttien asennuksessa oli opittavaa. Teknologian asennus tuotti haasteita energiatehokkaan päivittäistavarakaupan rakennusvaiheessa. Asennustöiden jälkeen ilmeni, että sähköyhtiö ei pystynyt toimittamaan tarvittavaa mittautustietoa. Samanlaista mittausjärjestelmää ei oltu ennen asennettu ja rakennusvaiheessa toimijoiden oli käytävä neuvotteluja ennen kuin osapuolet pääsivät yhteisymmärrykseen asennustyöhön liittyvistä yksityiskohdista. Toimijoiden oli tehtävä jälkikäteen lisäasennuksia riittävän tarkan mittautustiedon saamiseksi. Haasteet aiheuttivat viivästyksiä Tuiran päivittäistavarakaupan rakennustöiden aikatauluun. Lisäksi asennusten viivästyminen vaikutti osaltaan siihen, että kokeilua päätettiin jatkaa alkuperäisestä suunnitelmalla pidemmälle, jotta sähköntalutuksesta saataisiin tarpeeksi pitkä seurantajakso. Haastatellun tutkijan mukaan kokemuksista kuitenkin opittiin ja seuraavalla kerralla asennukset sujuisivat oletetusti nopeammin. Kokeilu tuotti osaamista mittauslaitteiden asentamisesta:

”Siinä tuli aikatauluviiveitä ja siinäkin oli taas se sama, että kun tämmöstä instrumentointia aikaisemmin oo toteutettu niin, meni todella kauan, että se sai sitte tehtyä ne instrumentoinnit. Nythän se on tehty ja, mä luulen, että seuraava, paikka sitten meneekin vähä juohevammin.” VTT 2017

Kokeilun aikana opittiin paremmin ymmärtämään päivittäistavarakaupan sähkölaitteiden kysyntäjoustopakapiteettia, eli miten laitteita voidaan säätää niin, että niiden talutus kasvaa tai pienenee tarpeen mukaan. Päivittäistavarakauppojen sähköntalutuksen mittautustiedon perusteella saatiin selville, paljonko kaupan sähkölaitteita voidaan säätää yhdessä kaupassa. Kysyntäjoustopon toteutetaan siten, että laitteiden sähköntalutusta pienennetään, niin ettei kaupan olosuhteissa tapahdu muutosta. Kokeilussa todettiin, että kylmälaitteet voidaan jopa irrottaa verkosta 30 minuutiksi

aurinkopaneelien avulla. Tieto kylmälaitteiden soveltumisesta kysyntäjoustoon lisää kaupassa olevaa säätökapasiteettia, koska kylmälaitteiden energiankulutus on noin puolet koko kaupan sähkönkulutuksesta. Lisäksi kokeilun aikana kehittyi ideoita siitä, miten sähkölaitteiden säädettävyyttä voitaisiin kehittää edelleen:

”Mutta nyt on tullut ideoita, miten kaupallisia laitteita vois kehittää. Elikkä siellä on ideoita siitä, miten kylmäketjussa olevia laitteita esimerkiksi vois kehittää, että voitais vielä paremmin säätää.” VTT 2017

Sähkönkulutuksen mittauksista saatujen tietojen perusteella analysoitiin millaisia kysyntäjoustotuotteita päivittäistavarakauppaketju voisi säätösähkö- tai reservimarkkinoille tarjota. Päivittäistavarakaupasta saatava säätövoima on nopeaa säätövoimaa eli laitteet voidaan kytkeä pois päältä nopeasti verrattuna perinteisiin teollisuuslaitoksiin. Päivittäistavarakaupat voisivat siis tuoda sähkömarkkinoille lisää nopeaa aggregoitua säätövoimaa. Kokeilu osoitti, että yksittäisen kaupan kysyntäjoustokapasiteetti ei kuitenkaan riitä nykyisille markkinapaikoille, mutta yhdistämällä usean kohteen kapasiteetit yhteen voidaan muodostaa virtuaalinen voimalaitos, jonka kapasiteettia tarjotaan markkinoille.

Kokeilun aikana toimijat saivat uutta tietoa teknologioiden synergiaeduista päivittäistavarakaupassa. VIRPA-B –kokeilussa kysyntäjoustoon on yhdistetty aurinkopaneelit, maalämpökaivot ja energiatehokkaat sähkölaitteet. Lisäksi kaupan kylmäketjua oli optimoitu kysyntäjoustopuolelta. Energiatehokkuudesta huolimatta vaikuttaa siltä, että kaupan sähkölaitteissa näyttää olevan säätövoimaa yhtä paljon kuin vertailukohteen sähkölaitteissa. Tulokset viittaavat siihen, että optimoimalla sähkölaitteita niiden säädettävyyttä voitiin parantaa. Optimoinnin ansiosta laitteita pystyttiin säätämään enemmän, jolloin erot energiatehokkaiden ja standardilaitteiden välillä vähenivät. Kokeilussa ei tutkittu oliko kysyntäjoustolla vaikutuksia sähkön kokonaiskulutukseen, mutta energiatehokkuuden ansiosta Tuuran S-marketin energiankulutus on 60% pienempi kuin tavanomaisten päivittäistavarakauppojen. Kysyntäjoustopuolelta arvioitiin kuitenkin vaikuttavan sähkönkäyttäjän toimintaan eli kulutusta pyritään ohjamaan pois kulutushuipuilta. Aurinkopaneelien ja kysyntäjoustopuolelta huomattiin täydentävän toistaan. Aurinkoisena päivänä, jolloin kaupan kylmäntuotanto on suurimmillaan, aurinkopaneelien tuotanto riittää kattamaan kylmälaitteiden kulutuksen. Aurinkopaneelien tuotanto auttoi siis leikkaamaan kiinteistön tasolla pahimpia kulutushuippuja:

”Tutkimuksissa voitiin todeta, että aurinkovoimalaitoksesta on keskikokoisessa marketissa paljonkin hyötyä sen kulutuksen optimoinnin kannalta. Aurinkovoimalaitos hyödyttää sikäli, kun kulutus on kesällä huipussaan, se ottaa ja leikkaa niitä pahempia kulutushuippuja.” VTT 2018

Suuren sähkönkäyttäjän näkökulmasta järkevintä olisi ottaa kysyntäjousto huomioon suunnitteluvaiheessa. Silloin myös sähkölaitteita ja automaatiojärjestelmää voidaan optimoida kysyntäjouston mukaan eikä teknologiaa tarvitsisi ottaa käyttöön jälkikäteen. Koska uusia kauppvoja ei kuitenkaan rakenneta lisää kovin usein, S-Ryhmä kiinnostunut myös vanhojen kauppvojen kysyntäjoustopotentiaalista. VIRPA-B –kokeilussa asennettiin kysyntäjoustojärjestelmä vanhaan kiinteistöön, mutta lähtökohtaisesti kysyntäjousto kannattaa ottaa huomioon jo rakennusvaiheessa:

”Jos sitä lähtökohtaisesti miettii, tällästä kysyntäjoustoista niin, miten se pitäisi ottaa huomioon niin, totta kai niin, siinä vaiheessa, kun jos jotain uutta ruvetaan suunnittelemaan, se pitäisi ottaa suunnittelussa huomioon. Se olisi siellä lähtökohtaisesti. No nyt tietysti meilläkään ryhmässä ei ihan hirveästi ole viime aikoina mitään uutta rakennettu. Se on hyvä kysymys et mitä sitten, rakennetaan et, tietysti korvausinvestointeja tehdään, mutta pääsääntöisesti ei varmaan hirveästi mitään uusia marketeja tai muuta tällästä synny. Mutta näin pitäisi olla että, se tekniikka olisi jollakin lailla, siellä suunnittelussa mukana että, sitä ei tarvis erikseen viedä sinne.” S-Voima 2017

Kokeilujen aikana kantaverkkoyhtiö on tarkastellut uudelleen markkinapaikoille annettuja teknisiä vaatimuksia. Tekniset vaatimukset on laadittu alun perin voimalaitosten toimintaa ajatellen. Kun kokeiluja on tehty uusien kohteiden kanssa, sääntöjä on tarkasteltu uudesta näkökulmasta ja pyritty poistamaan pienten ja keskisuurten kulutuskohteiden kysyntäjouston esteitä. Kantaverkkoyhtiö kuitenkin korostaa, että sähkömarkkinoiden säännöt on luotu järjestelmän tarpeen mukaan. Sähköjärjestelmä toimii tiettyjen teknisten puitteiden rajoissa ja ne määrittelevät ensisijaisesti markkinapaikkojen tekniset reunaehdot:

”Meillähän on näille eri reservilajeille hyvin tarkat tekniset vaatimukset, miten sen pitää toimia, Niitä me olemme omalta osaltamme käyneet paljon läpi ja sitten sieltä teknisistä vaatimuksista siirrytty näiden markkinapelisääntöjen ja –osapuolten vastuiden ja velvoitteiden ja näitten kehittämiseen ne aggregointi pilotit tullut sitten jatkumona.” Fingrid 2018

5.2.3 Sääntely

Tässä kappaleessa analysoin kokeiluun osallistuneiden toimijoiden esille nostamia institutionaalisia esteitä kysyntäjoustopuoleen yleistymiselle. Suomessa on päätetty, että kysyntäjoustopuoleen ei ensisijaisesti edistetä lainsäädännöllisillä keinoilla vaan esteitä poistamalla ja markkinoita kehittämällä (TEM 2015). Siksi tarkastelenkin sääntelyn kohdalla erityisesti markkinapaikkojen sääntöjä. Myös haastateltavat nostivat esiin suurimpana esteenä nykyiset sähkömarkkinasäännöt kysyntäjoustopuoleen lisäämiselle, jotka tulkitsevat institutionaalisena oppimisena kokeilussa.

Kantaverkkoyhtiössä markkinasääntöjä on tarkasteltu aggregoitavien kuormien osalta. Kysyntäjoustopuoleen osallistumisen edellytetään, että sähkökäyttäjän on pystyttävä tarjoamaan joustopuoleen markkinoille puoli tuntia kerrallaan. Markkinasäännöt mahdollistavat, että aggregoidut kuormat pystyvät kuitenkin vuorottelemaan eri kohteiden välillä. Kaikkien laitteiden ei tarvitse olla irti sähköverkosta puolta tuntia vaan laitteet voivat vaihtua, kunhan säädetty kokonaisteho pysyy saman. Aggregoidut kuormat pystyvät osallistumaan kaikille markkinapaikoille, mutta itsenäisiä aggregaattoreita koskevat markkinasäännöt ovat vielä tarkastelussa ja niiden osallistuminen markkinoille on rajoitetumpaa kuin tasevastaavien aggregaattoreiden.

Tutkijan mukaan markkinasäännöt ovat paineen alla, koska kysyntäjoustopuoleen merkitys on lisääntymässä. Kokeilussa analysoitiin mille markkinapaikoille päivittäistavarakaupassa oleva kysyntäjoustopuoleen voisi osallistua. Kokeilun aikana kysyntäjoustopuoleen markkinoiden tilanne tuli toimijoille selvemmäksi. Vaikka markkinapaikan säännöt sallivat kulutuskohteiden osallistumisen markkinapaikoille, nykyiset markkinasäännöt soveltuvat heikosti pienille aggregoitaville kohteille eli pienemmille sähkölaitteille, joiden kapasiteetti yhdistetään suuremmaksi kokonaisuudeksi. Tutkijan mukaan nykyisille markkinapaikoille vaadittava kapasiteetti on niin suuri, että sen aggregoimiseksi tarvitaan kymmeniä, jopa satoja kohteita. Mitä enemmän kohteita tarvitaan, sitä suuremmiksi investointikulut nousevat. Vaikka päivittäistavarakaupoissa on kapasiteettia, tarvitaan kymmeniä kauppiaita, jotta saadaan aggregoitua riittävä määrä kysyntäjoustopuoleen sähkömarkkinoille. Nykyisessä tilanteessa tutkija pitää todennäköisenä, että markkinoille ei myöskään tule pieniä itsenäisiä aggregaattoreita, koska toiminta ei olisi taloudellisesti kannattavaa:

”On tullut aika paljon selvemmäksi tuo markkinatilanne, että mikä se todellisuudessa on. Meillä käytännössä on sellainen tilanne, että meillä on tämä nykyinen sähkömarkkinajärjestelmä ja se on muutospaineen alla.” VTT 2018

”Se mitä meille tuli havaintona, että sitä (kauppakeskuksia) pienemmät kohteet eivät ole riittävän suuria, liiketaloudellisesti kannattavia tulla nykyiselle

sähkömarkkinainfrastruktuurille. Eli siihen tarvitaan uuden tyyppistä ajattelua eli uudenlaista toimintamalleja, että voitaisiin pudottaa kynnystä alaspäin.” VTT 2018

Haastattelujen perusteella sähkömarkkinoiden ansaintamahdollisuudet näyttäytyvät kuitenkin tulevaisuudessa houkuttelevina sähkönkäyttäjän ja kysyntäjoustopalvelun tuottajan näkökulmasta, kunhan markkinasäännöt kehittyvät. Markkinapaikkojen sääntöjen muuttumiseen suhtaudutaan kuitenkin jossain määrin ristiriitaisesti, koska samaan aikaan toimijoiden investointeja jarruttaa sähkömarkkinoiden muutoksen epävarmuus. Varsinkin ensimmäisellä haastattelukierroksella toimijat arvelivat, että markkinapaikat sekä niiden säännöt saattaisivat muuttua merkittävästi lähivuosina. palvelunkehittäjän näkökulmasta kysyntäjoustopalvelun ympärille rakentuva liiketoiminta näyttää kompleksiselta kokonaisuudelta, johon markkinasääntöjen kehittyminen lisää epävarmuutta. Esimerkiksi palveluntarjoajan täytyy kehittää mittarointijärjestelmä kysyntäjoustopalvelun toteuttamiseksi, mutta mittausjärjestelmän vaatimukset saattavat muuttua markkinasääntöjen kehittyessä. Seuraavat sitaattit konkretisoivat toimijoiden näkemyksiä markkinasääntöjen muutokseen liittyvästä epävarmuudesta:

”Ehkä oleellinen mistä, ollaan tässä hankkeessakin tietysti paljon keskusteltu, on just se tietysti tämä markkinan kehittyminen. Että vielä se tuo lisähaasteita siitä, että ei ehkä ihan tarkkaan tiedetä mitä markkinapaikkoja esimerkiksi on kahden vuoden päästä tarjolla.” Rejlers 2017

”Mä oon ehkä enemmänkin huolissani siitä, että kun nytten, nää kantaverkkoyhtiöt niin, ne miettii niiden markkinapaikan sääntöjä ja todentamista ja testaamista uudelleen ja vastikään olin kuuntelemassa kantaverkkoyhtiön julkituloa et miten näitä, prosesseja ollaan siel markkinapaikan sisällä muuttamassa niin, menee kyllä, menee kulutuksen kannalta aika haastavaksi et testaaminen vie hirveesti aikaa ja näin pois päin.” S-Voima 2017

Sähkönkäyttäjän mukaan investointeihin liittyvä riski kasvaa, koska varmuutta markkinoille pääsystä ei ole. Sähkönkäyttäjän ehdotuksena olisikin, että investoinnit takaisivat pääsyn markkinoille, jolloin investointien takaisinmaksuaika olisi paremmin ennakoitavissa. Nykyiset kapasiteettivaatimukset ovat varsin korkeat verrattuna sähkönkäyttäjien joustokapasiteettiin. Kokeiluun osallistuneet toimijat ehdottavat kokeilun pohjalta, että kysyntäjoustokohteiden määrää markkinapaikoilla voitaisiinkin lisätä kapasiteettivaatimuksia laskemalla. Haastateltavat olivat yhtä mieltä siitä, että markkinapaikkojen sääntöjen on muututtava palvelemaan paremmin murroksessa olevaa markkinatilannetta ja pieniä kulutuskohhteita. Samaa aikaan markkinasääntöjen muutokseen liittyvä

epävarmuus muodosti esteen laajamittaiselle käyttöönotolle. Yksi haastateltava tiivistä, että vielä kysyntäjouksoon laajamittaiseen osallistumiseen liittyy haasteita, mutta että ne eivät ole ylitsepääsemättömiä:

”Kyllä kyllä et siellä on haasteita, mutta ei ne mun mielestä mitään ylitsepääsemättömiä ole. Et pitäisi vaan ehkä katsoa sitä niin kun alkuunkin sanoin että näin asiat on aina tehty, van mietittäisi että okei näin ne on joskus tehty mutta ehkä tämä markkina on 20 vuoden aikana muuttunut ja on muuttumassa koko ajan eri suuntaan. Että ne ei ehkä ole kaikkein kustannustehokkaimpia ratkaisuja joita aina ennen on tehty vaan pitäisi uskaltaa ottaa puhtaalta pöydältä ja miettiä miten tää olisi järkevä tehdä.” S-Voima 2018

5.2.4. Käyttäjien odotukset

Tässä kappaleessa analysoin, mitä toimijat oppivat kokeilun myötä sähkönkäyttäjien vaatimuksista kysyntäjouksoon osallistumiseksi. Sähkömarkkinoiden avautuminen pienemmille kulutuskohteille luo odotuksia uusista ansaintamahdollisuuksista sähkönkäyttäjille. Sähkönkäyttäjät on aikaisemmin nähty passiivisina toimijoina sähkömarkkinoilla, mutta kysyntäjoukon myötä niiden rooli on muuttumassa. Toisaalta myös sähkönkäyttäjillä on odotuksia kysyntäjouksoon osallistumisen suhteen. Kokeilun avulla käyttäjät testaavat odotuksiaan. Kokeiluun osallistuneet toimijat havaitsivat, että nykyinen kysyntäjoukon laskentatapa soveltuu huonosti pieneten kohteiden aggregointiin. Käytännön olosuhteissa säädettävä sähkönkulutus on osoittautunut pienemmäksi kuin teoreettiset laskelmat ovat antaneet odottaa.

Kokeiluun osallistuneet toimijat toivovat selkeyttä nykyisiin markkinapaikkojen sääntöihin. Sähkönkäyttäjän näkökulmasta kantaverkkoyhtiön ohjeet koettiin hyvin teknisinä. Kysyntäjouksoon osallistuminen pitäisi tehdä helpoksi sähkönkäyttäjälle, mutta markkinoiden asettamien vaatimusten toteuttaminen vaatii syvällistä perehtymistä teknisiin vaatimuksiin ja markkinoiden sääntöihin, mikä koettiin vaikeaksi. Investointikustannukset eivät toimijoiden mukaan ole suuret, mutta sääntöjen monimutkaisuus hankaloittaa kysyntäjouksoon osallistumista:

”Ja meilläkin on ollut haasteita ymmärtää, että mitä siellä ihan oikeasti tarkoitetaan niin että ehkä sen lähtökohta pitäisi olla se että, kantaverkon pitäisi kertoa, että mitä he ihan oikeasti tarvitset ja kertoa se niin yksinkertaisesti, että toimijat sen ymmärtää. Et nyt haaste on ollut se, että toimija lukee niitä speksejä ja mietit että mitä ihmettä, ne

on niin teknisiä että sun pitää olla hirveen syvällisesti perehtynyt asiaan että ymmärrät mitä sillä oikeasti tarkoitetaan.” S-Voima 2018

Kysyntäjoustoa mitataan seuraamalla sähkönkulutusta koko kiinteistön tasolla. Samassa kiinteistössä voi kuitenkin olla useita sähkölaitteita, joista osa osallistuu kysyntäjoukseen ja toiset eivät, jolloin yksittäisen laitteen sähkönkulutuksen säätäminen ei välttämättä erotu muiden laitteiden sähkönkulutuksen vaihdellessa. Päivittäistavarakaupassa tehdyissä mittauksissa todettiin, että vaikka yksittäisen laitteen energiakulutusta säädetään alaspäin, laitteiden energiakulutus heilahtelee huomattavasti minuuttitasolla säädöstä huolimatta. Laitteen sähkönkulutuksen heilahdellessa jää tulkinnanvaraiseksi, miten kysyntäjoustokapasiteetti lasketaan. Kysyntäjoustokapasiteetin laskentatapa vaikuttaa suoraan siihen, paljonko sähkönkuluttajan on mahdollista ansaita sähkömarkkinoilta. Sähkökäyttäjä toivookin selkeitä sääntöjä kysyntäjoukseen todentamiseksi:

”Niin lähtökohta on ollut se, että sitten haetaan pienin mahdollinen mikä siellä on niin se pudottaa pois puolet siitä kapasiteettista. Niin se on vähän sit... Sama asia siinä, että pitäisi selvästi kertoa, että mitkä ne periaatteet ovat, että miten kapasiteetin määrittäminen tehdään.” S-Voima 2018

Kokeilun perusteella jää vielä epäselväksi kannattaako kaupan alan sähkökäyttäjien investoida kysyntäjoukseen. Tutkijan mukaan investointien kannattavuuteen vaikuttavat monet muuttujat, kuten sähkölaitteiden kysyntäjoustokapasiteetti, markkinatilanne, markkinasäännöt ja kiinteistön elinkaari. Vanhempia rakennuksia ei välttämättä kannata ottaa mukaan kysyntäjoukseen. Jos investointien takaisinmaksu aika jää lyhyeksi, ne eivät välttämättä ole taloudellisesti kannattavia.

Kuluttajien tarpeisiin vastaaminen edellyttää sähkökäyttäjien odotusten ymmärtämistä. Osallistuakseen kysyntäjoukseen pienet ja keskisuuret sähkökäyttäjät tarvitsevat aggregaattoreita, eli yrityksiä jotka tarjoavat kysyntäjoustopalveluita ja myyvät käyttäjien yksittäisistä sähkölaitteista yhdistetyn kysyntäjoukseen markkinoille. Kokeilun avulla kysyntäjoustopalvelua kehittävä Rejlers oppi paljon sähkökäyttäjien vaatimuksista ja joukseen mahdollisuuksista liikekiinteistössä. Kysyntäjouksto on toteutettava niin, ettei siitä aiheudu haittaa sähkökäyttäjälle. Myös sähkökäyttäjiä kokeilussa edustanut S-Ryhmän haastateltava korosti, että kysyntäjoukseen on tapahduttava muun toiminnan taustalla eikä se saa vaikuttaa päivittäistavarakauppojen olosuhteisiin. Palveluntarjoajan tulee ymmärtää kaikkien markkinaosapuolten motiivit ja mahdollisuudet osallistua kysyntäjoukseen ja sovitettava ne yhteen. Tästä muodostuu Rejlersin haastateltavan mukaan kompleksinen kokonaisuus, jossa on useita asiakkaita:

”Et tässä täytyy nähdä siitä, se kokonaisuus et kysyntäjoustokonseptin ja sitten arvoverkon luomisen osalta. Et ei mekään tätä yksin ratkaista. Et tämä on sitten kumppaneiden ja, muitten osapuolten kanssa kenen kanssa tää tehdään. Ja sitten siinä on, ei ole vain yhtä tavallaan asiakkuutta vaan, et on asiakas ja toimittaja, vaan tässä on monta osapuolta kokonaisuudessa. Ja myöskin se kokonaiskonsepti täytyy asiakkaan osalta ymmärtää.” Rejlers 2017

”Ja se, että mikä on kunkin osapuolen, sitten motiivi ja toisaalta sitten mahdollisuudet olla mukana siinä. Niin tavallaan näiden palikoiden sovittaminen keskenään on kohtuullisen monimutkainen kokonaisuus” Rejlers 2017

5.2.5 Kulttuuriset ja symboliset merkitykset

Uuden teknologian juurruttaminen osaksi vallitsevaa toimintaympäristöä tapahtuu teknologian ja palveluiden kehittämisen lisäksi myös kulttuuristen merkitysten muodostumisen kautta (Kemp 1998). Kokeiluun osallistuneet toimijat antavat kysyntäjoustolle merkityksiä perustellessaan osallistumistaan kokeiluun. Kulttuuriset ja symboliset merkitykset linkittyvät oleellisesti kokeilijoiden sähköjärjestelmän visioon. Analyysin perusteella havaitsin aineistosta kolme merkitystä, jotka toimijat antoivat kysyntäjoustoteknologialle.

Toimijoiden tulevaisuuden visioissa korostui kysyntäjoustopuolteen taloudellinen merkitys. Sähkönkäyttäjät voivat säästää sähkölaskussaan osallistumalla kysyntäjoustopuoleen. Toisaalta rahallista säästöä tulee myös yhteiskunnan tasolla, kun sähköverkkoa voidaan tasapainottaa joustamalla kysyntää eikä rakentamalla uusia voimalaitoksia. Haastateltavien mukaan uusien voimalaitosten rakentaminen on paljon kalliimpaa kuin kysyntäjoustopuoleen vaadittavat investoinnit:

”Tuotantoa ei tarvitse rakentaa niin paljon lisää, mutta pystytään kuitenkin toimimaan järkevällä tasolla. Ja se hyödyttää kokonaisuudessaan tätä talousjärjestelmää.” VTT 2018

”Että jos ajattelee näin, että puhutaan kuitenkin aika pienistä investointisummista, mitä sun pitää tehdä tolaiseen olemassa olevaan kulutuskohteeseen, että sen joustopuolen sieltä saat. Se on huomattavasti edullisempaa, kuin että rupeaisit erikseen rakentamaan jotain uusia voimalaitoksia. Sen takia me uskotaan siihen.” S-Voima 2018

Toinen merkitys, joka toimijoiden puheissa nousi esille, oli kysyntäjoustopuolteen ympäristöystävällisyys tasapainottamassa uusiutuvaan tuotantoon perustuvaa energiajärjestelmää. Kysyntäjoustopuoli ei itsessään

säästä energiaa tai vähennä päästöjä, mutta jos sähkönkulutus pystytään kohdentamaan energiatuotantomuotojen mukaan niin, että sähköä pyritään käyttämään enemmän silloin kuin uusiutuvaa energiantuotantoa on runsaasti, silloin kysyntäjoustolla on vaikutusta päästöihin. Useat haastateltavat vertasivat kysyntäjoustoa uusien sähköntuotantolaitosten rakentamiseen ja silloin kysyntäjousto heidän mukaansa on hiilidioksidipäästöjen kannalta parempi vaihtoehto:

”Kyllä me nähdään, että se on ilmaston kannalta ja kustannusten kannalta niin kaikista tehokkain ratkaisu, että yritetään ottaa se sieltä mikä on valmiina.” S-Voima 2018

Kolmanneksi toimijoiden keskuudessa kysyntäjousto nähtiin uutena menetelmänä tasapainottaa sähkömarkkinoita ja uudistaa sähköjärjestelmää. Haastatelluissa toistui, että sähköjärjestelmän toimintaa on järjestettävä uudelleen ja säätövoima tulee tulevaisuudessa toteuttaa älykkäämmiin uutta teknologiaa ja kiinteistöissä olevaa joustopotentiaalia hyödyntäen. Toimijat haluavat olla mukana ottamassa käyttöön uutta teknologiaa, joka mahdollistaa sähköjärjestelmän tehokkaan toiminnan ympäristönäkökulmaa unohtamatta. Toimijat rakentavat kysyntäjoustolle merkitystä osana tulevaisuuden älykästä sähköverkkoa:

”Se on aina helppoa tehdä samalla lailla, kun on ennenkin. Että se on vaikea ajatus, että entä jos tehtäisiin vähän uudella tavalla, mietitään vähän pitemmälle ja katsottaisiin vähän kauemmas.” Arina 2017

”Meillä on nyt näitä hyviä pilotteja, missä voidaan osoittaa käytännössä, että käytännön työssä tämä on kannattavaa ja muutenkin hyödyllistä. Näiden pilottien kautta se rupeaa leviämään, että ruvetaan miettimään erilaisia tapoja kierrättää energiaa.” VTT 2018

Huolimatta kysyntäjoustopon hyödyistä, haastateltavat toivat esille, että asia on vielä tavallisille sähkökäyttäjille uusi. Kantaverkkoyhtiölle kokeilut ovat ensisijaisesti tarjonneet keinon viestiä sidosryhmille ja löytää uusia kysyntäjoustokohteita. Kysyntäjousto on havaittu monimutkaiseksi käsitteeksi, joka ei konkretisoidu sähkökäyttäjille samalla tavalla kuin esimerkiksi energiatehokkuus. Haastateltavat kokevat, että kysyntäjoustopon viestiminen on hankalaa, koska sähköverkon tasapainon merkitys ei näy kuluttajalle muuten kuin ongelmien ilmetessä. Kokeilut ovat herättäneet mielenkiintoa ja tuoneet aiheen lähemmäs sähkökäyttäjää. Kokeilun myötä kysyntäjousto on saanut näkyvyyttä lehdissä ja toimijoiden nettisivuilla. Kulttuuristen merkitysten, kuten ympäristöystävällisyyden tai taloudellisuuden liittäminen osaksi kysyntäjoustopon on keino tuoda uusi konsepti osaksi sähköjärjestelmää ja lisätä hyväksyttävyyttä kaikkein sähkökäyttäjien keskuudessa.

5.2.6. Infrastrukturi ja huoltoverkosto

Uusi teknologia tarvitsee usein toimiakseen rinnakkaisteknologioita, osaamista ja muuta infrastruktuuria. Jotta sähkönkäyttäjät pääsevät osallistumaan kysyntäjoustoon, tarvitaan palveluita, jotka ohjaavat kulutusta ja aggregoivat kuormia sähkönkäyttäjän puolesta. Myös VIRPA-B – kokeilussa osa toimijoista oli kiinnostunut palvelun kehittämisestä. Haastatellun tutkijan mukaan vaikuttaa siltä, että markkinoille on tulossa uusia toimijoita, jotka ovat kiinnostuneet kokeilemaan onko kysyntäjousto suomalaisessa sähköverkossa kannattavaa liiketoimintaa. Kysyntäjousto-markkinat ovat vasta kehittymässä, joten vielä on liian aikaista arvioida, millaisia yrityksiä sinne lopulta kehittyy.

Kysyntäjoustoon osallistuminen edellyttää sähkömarkkinoiden vaatimusten mukaista mittausjärjestelmää, jonka avulla sähkökulutusta voidaan seurata tarvittavalla tarkkuudella etänä reaaliajassa. Kokeilussa käytetty mittauslaitteisto on siirrettävissä muihin kiinteistöihin. Vaikka teknologia on olemassa, saattaa sen asentamisessa kuitenkin olla vielä haasteita, kuten VIRPA-B – kokeilu osoitti. Jotta kysyntäjousto voisi yleistyä tarvitaan asentajia, jotka osaavat soveltaa mittausteknologiaa erilaisiin kiinteistöihin ja sähkölaitteisiin. Kokeilut voivat olla yksi keino tarvittavan osaamisen levittämiseen.

Kysyntäjoustoteknologiaa voidaan yhdistää myös muihin energiateknologioihin kuten, kokeilun energiatehokas tutkimuskohde osoittaa. Kysyntäjousto teknologia ansaintamahdollisuuksineen avaa uusia vaihtoehtoja kiinteistöjen energiakulutuksen optimoimiselle. Se on tuonut mielenkiintoisen näkökulman kiinteistöjen energianhallintaan palvelukonseptikehittäjän näkökulmasta. Kysyntäjousto näyttäisi ajoittain olevan ristiriidassa energiatehokkuuden tavoittelun kanssa. Energiatehokkuus ei välttämättä heikennä kysyntäjoustokapasiteettia, mutta kysyntäjousto saattaa joissain tilanteissa heikentää kiinteistöjen energiatehokkuutta. VIRPA-B –hankkeen toisessa tutkimuskohteessa oli katolla aurinkopaneelit. Aurinkopaneelien tuottaman sähkön käyttäminen kiinteistössä on kannattavampaa kuin myyminen sähköverkkoon. Aurinkopaneelien myötä kulutuksen hetkittäinen lisääminen tulee kannattavaksi. Kiinteistöjen energianhallinnassa on lähtökohtaisesti pyritty energiatehokkuuteen. Kysyntäjoustossa kuitenkin aurinkopaneelien tuotantoa kannattaa varastoida esimerkiksi kylmälaitteisiin. Kiinteistön energiankulutusta ei aina kannata optimoida välttämättä energiatehokkuuden näkökulmasta, vaan energianhallinnassa täytyy tehdä valintoja energiatehokkuuden optimoinnin ja liiketaloudellisen näkökulman väliltä. Varastoinnin avulla voidaan säätää kulutusta alaspäin kulutuspiikkien aikaan. Kulutuspiikkien hallinnan lisäksi oikein ajoitetusta sähkönkulutuksen lisäämisestä tulee tärkeä osa kiinteistön energiankäytön optimointia. Seuraavat sitaatit avaavat kokeilijoiden näkökulmaa:

”Se ei välttämättä aina mene sen energiatehokkuuden näkökulmasta yks yhteen vaan silloin puhutaan siitä, että sitten me optimoidaan joko hintaa tai sitä valittua, tavallaan liiketoiminnallista näkemystä mitä siinä haetaan. Et siinä on tavallaan sekin malli. Mutta toki, jos oikein isoa kuvaa katsotaan, kyllä silloin, jos näitä piikkikuormia lähdetään tasaamaan niin kyllä se, suuressa kuvassa aina on tietysti se, energiatehokkuus ja ekologisuus mitä siinä haetaan, jotta silloin ei näitä huippuvoimalaitoksia tarvitse käyttää” Rejlers 2017

”Mutta sitten se, että kun tämä markkina toimii niin että kun välillä tarvitaan lisää kulutusta ja välillä vähemmän niin se on hankala selittää, että siitäkin on hyötyä, että pystytään lisäämään kulutusta.” S-Voima 2018

Tästä huolimatta energiatehokkuutta ja kysyntäjoustoja ei kannata nähdä pelkästään kilpailevina ominaisuuksina. Sähkönkuluttajan näkökulmasta molemmat voivat olla kannattavia investointeja ja niitä voidaan edistää samaan aikaan, kunhan toimija pystyy perustelemaan investoinnit taloudellisesti:

”Minun mielestä nämä kaksi (energiatehokkuus ja kysyntäjousto) kulkevat ihan hyvin käsikädessä, kunhan pystyt taloudellisesti perustelemaan, että tässä on joku järki niin että saat siitä rahallista hyötyä, että lisäät sitä välillistä sähkönkulutusta, niin kyllä toimii.” S-Voima 2018

5.2.7 Yhteiskunnalliset ja ympäristövaikutukset

Uusilla energiateknologioilla saattaa olla haitallisia vaikutuksia myös yhteiskuntaan ja ympäristöön, jotka paljastuvat kokeilujen myötä. Tässä kappaleessa tiivistän ne kysyntäjouston yhteiskunnalliset ja ympäristövaikutukset, jotka nousivat haastatteluiden aikana esille.

Kysyntäjouston yhteiskunnalliset vaikutukset näkyvät haastateltavan tutkijan mukaan siten, että uusia säästövoimalaitoksia ei tarvitse rakentaa sähköverkon tasapainottamiseksi. Haastateltujen toimijoiden näkökulmasta uusien tuotantolaitosten kustannukset tulevat lopulta yhteiskunnan maksettaviksi korkeampina sähkölaskuina tai -veroina. Kysyntäjousto tulee huomattavasti edullisemmaksi, koska sähkönkäyttäjät voivat investoida siihen itse ja toimijoiden mukaan kysyntäjousto vaadittavat investoinnit ovat pienemmät kuin uusien tuotantolaitosten rakentaminen. Jos kysyntäjousto tehdyn investoinnit saa takaisin korvauksina sähkömarkkinoilta kustannukset jäisivät huomattavasti pienemmiksi. Lisäksi sen ympärille rakentuva liiketoiminta saattaa osoittautua kansainväliseksi

kilpailuvaltiaksi. Kysyntäjouaston ympärille on kehittymässä uutta liiketoimintaa. Sääriippuvaisen tuotannon lisääntyessä kysyntäjouaston merkitys kasvaa. Toimijat näkevätkin kysyntäjouaston kansantalouden kannalta merkittäväksi.

Kantaverkkoyhtiössä kokeilut ovat osoittaneet, että kysyntäjouaston avaaminen uusille toimijoille edellyttää tietoturvan huomioimista uudella tavalla. Pienten sähkönkulutuskohdeiden ohjaus ja aggregointi tapahtuu internetin välityksellä ja tieto siirtyy useiden toimijoiden välillä. Pienten kohdeiden ohjaus eroaa tiedonsiirrotaan merkittävästi perinteisestä mallista, jossa teollisuuslaitos ja kantaverkkoyhtiö vaihtavat tietoa keskenään kiinteiden tietoverkkoyhteyksien kautta. Riskinä on, että sähköverkon luotettavuus heikkenee, kun tietoa siirretään yksityisten langattomien internetyhteyksien kautta. Fingridissä ollaan vakuuttuneita, että tietoturvakysymykset ovat ratkaistavissa. Haastateltava vertasi kysyntäjouaston tiedonhallinnan luotettavuutta maksukorttien tiedonsiirron luotettavuuteen. Kuten maksutapahtumat, myös sähkönkulutustietojen siirtäminen voidaan toteuttaa luotettavasti ja turvallisesti. Sähköverkon toiminnan kannalta, tietoturvan ylläpitäminen on tärkeää. Kokeilut ovat tarjonneet Fingridille alustan tietoturvajärjestelmien testaamiseen ja kehittämiseen käytännön kontekstissa. Lisäksi kokeiluilla voidaan osoittaa, että kulutustiedot ja ohjauskomennot siirtyvät toimijoiden välillä turvallisesti, myös silloin kun sähkömarkkinoille tulee uusia toimijoita. Siltä osin kokeilut ovat lisänneet uuden teknologian hyväksyttävyyttä. Kyberturvallisuus on kantaverkkoyhtiössä otettu huomioon kysyntäjouaston kehittämisessä. Muiden toimijoiden vastauksessa tietoturvallisuus ei noussut esille.

”Tähän sitten liittyy se tietoturvallisuuspuoli, josta on aina hyvä olla huolissaan. Se vanhanmallinen yks tieto meiltä voimalaitokselle, voimalaitokselta meille, on ollut erittäin turvalliset ja on turvalliset ja varmat vaihtaa tietoa. Se ei ole ongelma. Mutta sitten kun tulee näitä pieniä kohteita ja tietoja vaihdetaan internetin yli ja kännykkäverkon yli ja muuta. Ja siellä tapahtuu mahdollisesti niitä ohjauksia, niin että kukaan ei pääse sinne nyt sotkemaan.” Fingrid 2018

”Kyllä varmasti ratkaisuja löytyy, mutta niihin pitää vaan kiinnittää huomiota ja miettiä mille on tarve. Se on tärkeä juttu.” Fingrid 2018

Kokeilun aikana ei tutkittu oliko kysyntäjouastolla vaikutusta päästöihin. Toinen kokeilun kohteista oli energiatehokas päivittäistavarakauppa, jossa kokeiltiin kehittyntä energijärjestelmää. Kokeilun aikana kaupan energijärjestelmä todettiin hyvin energiatehokkaaksi, se kuluttaa vain noin 40% verrokkikohteen energiankulutuksesta. Kiinteistön energiatehokkuutta voidaan huomattavasti parantaa yhdistämällä maalämpökaivoja sekä kehittyntä kylmänhallintateknologiaa.

Kysyntäjoustolla voidaan täydentää päivittäistavarakaupan energiajärjestelmää kulutushuippujen leikkaamiseksi. Esimerkiksi aurinkopaneelien avulla voidaan kattaa kylmälaitteiden energiankulutus niin, että sillä voidaan korvata fossiilista tuotantoa, hiilidioksidipäästöt vähenevät. Kokeilussa ei kuitenkaan tullut uutta näyttöä kysyntäjouaston ympäristövaikutuksista. Toimijoiden näkemyksissä korostuivat kysyntäjouaston positiiviset vaikutukset eikä kysyntäjouastoon liitetty merkittäviä yhteiskunnallisia uhkia tai ympäristöhaittoja.

5.2.8. Yhteenveto

Oppimista tarkastelemalla tutkin, miten käytännön kokeilulla tuotetaan tietoa uuden teknologian käyttöönotosta. Kysyntäjouasto on yksi ajuri, joka muuttaa sähkömarkkinoiden pelisääntöjä. Sähkömarkkinoiden sopeuttaminen sähköjärjestelmän muutokseen on monimutkainen prosessi, jossa täytyy yhteen sovittaa useiden eri toimijoiden näkemyksiä ja intressejä. Kokeiluun osallistuneet toimijat olivat yhtä mieltä siitä, että teknologia ei rajoita kysyntäjouastoon osallistumista päivittäistavara kaupassa. Kokeilu onnistui hälventämään kylmälaitteiden säätämiseen kohdistuneita epävarmuuksia. Toimijat kuitenkin havaitsivat, että nykyiset markkinasäännöt eivät kannusta sähkönkäyttäjää osallistumaan kysyntäjouastoon. Markkinasääntöjen muuttaminen nähtiin edellytyksenä kysyntäjouastoon osallistumiselle, mutta samaan aikaan se lisää epävarmuutta investointien kannattavuudelle. Vaikka toimijat havaitsivat esteitä kysyntäjouastoon osallistumiselle, haastatteluissa nousi esille, että esteet eivät ole ylitsepääsemättömiä. Taulukkoon 5.2 on tiivistetty jokaisesta oppimisprosessista keskeiset opit.

Taulukko 5.2 Yhteenveto tutkimuksessa havaitusta sosioteknisestä oppimisesta.

Oppimisprosessit	Toimijat	Opit
Teollisuus ja tuotantoverkosto	Kantaverkkoyhtiö, tutkija, kysyntäjoustopalvelun kehittäjä, Sähkökäyttäjä	Kysyntäjoustopalveluketjussa on monia toimijoita joiden tarpeet täytyy sovittaa yhteen.
Tekniset näkökohdat ja suunnittelu	Sähkönkäyttäjä, tutkija, kysyntäjoustopalvelun kehittäjä, Kantaverkkoyhtiö	Tekniikka ei rajoita kysyntäjoustopalvelua, mutta tekniikan soveltaminen ei ole vielä vakiintunut. Tekniikka luo mahdollisuuksia uuden toimintamallin toteuttamiseen
Säätely (markkinasäännöt)	Kantaverkkoyhtiö, sähkönkuluttaja, tutkija, palvelunkehittäjä	Markkinasäännöt ovat muutoksessa. Markkinasäännöt eivät palvele kaikkia pieniä ja keskisuuria aggregoitavia kohteita.
Käyttäjien vaatimukset	Tutkijat, palvelunkehittäjä, kantaverkkoyhtiö	Kysyntäjoustopalvelulla ei ole haitallisia vaikutuksia kaupan toimintaan. Osallistumisen tulisi olla helppoa ja investointikustannusten edulliset
Kulttuuriset ja symboliset merkitykset	Sähkönkäyttäjät, Tutkijat, Kantaverkkoyhtiöt	Kysyntäjoustopalvelu nähdään ympäristöystävällisenä, markkinalähtöisenä ja uutena ratkaisuna. Kysyntäjoustopalvelu on vaikeasti hahmotettava käsite.
Infrastruktuuri ja huoltoverkosto	Palvelunkehittäjä	Kysyntäjoustopalvelu tuo lisää vaihtoehtoja kiinteistöjen energianhallintaan.
Vaikutukset yhteiskunnalle ja ympäristöön	Tutkija, Palvelunkehittäjä, Sähkönkäyttäjä, Kantaverkkoyhtiö	Kysyntäjoustopalvelu yhteiskunnalle edullisempi ja ympäristöystävällisempi tapa tuottaa joustoa kuin uuden tuotannon rakentaminen. Kantaverkkoyhtiö nosti esiin kyberturvallisuusriskit.

5.3 Kokeilun skaalautuminen

Yksittäisellä kokeilulla ei välttämättä ole vaikutusta vallitseviin toimintamalleihin. Skaalautumisen myötä kokeilun tulokset saattavat kuitenkin levitä ja lopulta vaikuttaa vallitsevaan toimintaympäristöön. Innovaatiopolkujen strateginen hallinta tarkasteleekin innovaatiopolkuja niiden luomisesta skaalautumiseen asti. Tuloksien jäsentelyssä olen hyödyntänyt aiemmasta kirjallisuudessa (Naber ym. 2017) käytettyjä skaalautumisen eri muotoja; kasvaminen, toistaminen, kasautuminen ja toimintaympäristön muutos.

Skaalautumisen analysoinnin pohjana on käytetty haastatteluaineistoa, toimijoiden julkaisuja sekä media-aineistoja. Aineiston keruu on tehty kokeilun aikana ja pian kokeilun päättymisen jälkeen. Tämän vuoksi kuvaukset kokeilun skaalautumisesta kuvaavat aineiston keruu hetkellä tiedossa olleita suunnitelmia. Analyysi perustuukin siihen, mitä aineiston perusteella voidaan kokeilun skaalaamisesta todeta.

5.3.1. Kokeilun kasvaminen

Kasvaminen on skaalautumisen muoto, jossa kokeilu jatkuu ja mukaan tulee uusia toimijoita (Naber ym. 2017). Uusien kohteiden myötä kokeilun mittasuhteet kasvavat ja toimijaverkosto laajenee. VIRPA-B –kokeilun puitteissa tutkittiin kahta päivittäistavarakauppaa. Kaupoissa käytetty teknologia oli tutkijoiden mukaan siirrettävissä myös muihin kohteisiin. Hankkeen puolivälissä kartoitettiin mahdollisuutta kohteiden lisäämiseksi, mutta uusia kohteita ei kuitenkaan lisätty ennen kokeilun päättymistä. VIRPA-B –kokeilu päättyi keväällä 2018. Kokeilun päätyttyä ei haastattelujen perusteella ollut näkyvissä, että kokeilua jatkettaisiin samanlaisena tai siihen lisättäisiin uusia kohteita.

Haastatteluiden perusteella kokeilun toimijoilla oli kuitenkin kiinnostusta jatkaa kysyntäjouoston kokeilemisen ja kehittämisen parissa. Esimerkiksi palvelukonseptia kehittämässä ollut Rejlersin haastateltava totesi, että vastaavia hankkeita on mietitty, mutta niiden toteuttaminen on osoittautunut hankalaksi. S-Voiman edustaja totesi, että he etsivät mallia, jolla kysyntäjouustoon voitaisiin osallistua useamman kiinteistön kanssa. VIRPA-B –kokeilun puitteissa sitä ei kuitenkaan oltu suunniteltu, koska kustannustehokasta toimintamallia ei ole vielä keksitty. Kokeiluja jatketaan ainakin tutkimuksen ja sähkönkuluttajan osalta myös VIRPA-B –kokeilun jälkeenkin:

”Kyllä me jatketaan sitä. Me uskotaan siihen, että kun meillä on paljon toimipaikkoja, niitä on se 1600 kappaletta että sieltä varmasti sitä säädettävää kapasiteettia löytyy.”
S-Voima 2018

”Meillä on ajatuksena nyt lähteä tekemään tällänen sähkömarkkinoiden kehittämiseen liittyvä pilotti.” VTT 2018

Osa kokeilun toimijoista oli osallistunut jo useampiin kysyntäjousto kokeiluihin, kun taas toiset olivat ensimmäistä kertaa mukana kysyntäjoustopilotissa. Yksittäiset kokeilut kehittävät innovaatiopolkua eteenpäin. Toimijat kuitenkin nostivat esille myös näkemyksen, että jossain vaiheessa kokeiluista pitäisi päästä siirtymään oikeaan liiketoimintaan:

”Mekin ollaan nyt aika paljon kokeiltu, että tietysti jossain vaiheessa pitäisi päästä siihen, että kokeilut saisi loppua ja ihan oikeasti päästä siihen oikeeseen elämään. Että ei sekään nyt ole järkevää, että vuodesta toisen kokeilet ja kokeilet ja käytä siihen rahaa.” S-Voima 2018

5.3.2. Kokeilun toistaminen

Kokeilua voidaan skaalata toistamalla se pääpiirteissään uudessa paikassa tai kokeilussa saatua osaamista hyödynnetään uusissa kohteissa. S-Ryhmän Arinassa aikaisemmat kokeilut toimivat aina pohjana uusille rakennushankkeille. Arinan näkökulmasta kokeilun pääpaino oli päivittäistavarakauppojen energiatehokkuuden parantamisessa ja energiakustannusten vähentämisessä. Kiinteistöjen energiajärjestelmää pyritään kehittämään edelleen lauhdelämmönkierrätyksen, oman energiantuotannon ja energiatehokkuuden suuntaan. Arinan S-market Tuira on VTT:n arvion mukaan Suomen energiatehokkain kauppa. Kokeilun toimijat arvioivat, että kokeilun tulokset tulevat vaikuttamaan siihen, miten kauppiaat tulevaisuudessa rakennetaan. Tuiran kohteen ratkaisuja ei kuitenkaan välttämättä toisteta täysin samana, vaan paikalliset opit otetaan käyttöön ja osaamista kehitetään edelleen seuraavissa rakennushankkeissa. Haastateltujen mukaan kokeilun aikana yhteistyökumppanit kehittivät innovaatioita eteenpäin ja miettivät myös mahdollisuuksia uusille soveltamiskohteille.

Jo VIRPA-B –kokeilun aikana S-Ryhmässä on edetty kysyntäjouston kanssa muiden hankkeiden parissa. Tuiran kohteessa kokeiltiin ensimmäisen kerran kylmälaitteiden tehon säätämistä päivittäistavarakaupan olosuhteissa. S-Ryhmä on sen jälkeen aloittanut hankkeen, jossa kokeillaan kylmälaitteiden optimoimista kylmälaittevalmistajan kanssa. Kylmälaittevalmistaja tuntee laitteiden

ominaisuudet vielä paremmin ja on tärkeä kumppani laitteiden kehittämisessä. Yhteisen kokeilun tavoitteena on parantaa kylmälaitteiston kysyntäjoustokapasiteettia.

VTT:llä on suunnitelmissa VIRPA-B –kokeilun jälkeen jatkaa kysyntäjoustoparissa. Kokeilun pohjalta on syntynyt uusia tutkimuksellisia hankkeita, VIRPA-B –kokeilun esiin nostamien kysymysten ratkaisemiseksi. Kokeilun oppien perusteella VTT haluaisi tutkia, miten sähkömarkkinoiden sääntöjä tulisi kehittää, jotta pienten kulutuskohteiden aggregointi ja osallistuminen markkinoille olisi houkuttelevampaa. Muutkin toimijat mainitsivat liiketoiminnan kehittämisen haasteena sähkömarkkinoiden säännöt ja niiden muuttumisen tulevina vuosina. VTT:n ehdotuksena on pilotti, jossa toimijat lähtisivät kehittämään sähkömarkkinoiden sääntöjä yhdessä kantaverkkoyhtiön kanssa tai luomaan erillinen markkinapaikka pienille aggregoitaville kuormille:

”Projektin osalta on syntynyt pari-kolme uutta tutkimuksellista hanketta, jossa pyritään tuomaan näitä ratkaisumalleja käytäntöön eli implementointia tehdään”

VTT 2018

5.3.3. Kokeilun vaikutusten kasautuminen

Skaalautumisen ei tarvitse olla suora toisinto alkuperäisestä kokeilusta. Kokeilu voi levitä myös silloin kun joitakin kokeilun ominaisuuksia liitetään muihin aloitteisiin. Kasautumisessa muista kokeilusta saatuja oppeja sovelletaan uusissa hankkeissa, vaikkakin epäsuorasti.

VIRPA-B –kokeilussa havaittiin, että päivittäistavarakaupassa aurinkopaneeleilla voidaan leikata kesäisiä kulutushuippuja. Päivittäistavarakaupoissa voidaan siis havaita hyötyjä aurinkopaneelien ja kulutuksen ohjauksen välillä. S-Ryhmällä on menossa myös uusi aurinkosähköhanke, jossa kymmenien päivittäistavarakauppojen katoille asennetaan aurinkopaneeleja. Asennusten jälkeen S-Ryhmä on Suomen suurin aurinkosähkön tuottaja. Aurinkosähköntuotantoon ollaan yhdistämässä ohjaustekniikkaa, jolla aurinkopaneeleja voidaan säätää päälle ja pois tarpeen mukaan. Säätävän tuotannon ohella kuitenkin selvitetään yksittäisten kiinteistöjen mahdollisuuksia kulutuksen ohjaamiselle. Kysyntäjousto kulkee hankkeessa mukana, vaikka pääpaino onkin aurinkopaneelien tuotannon optimoimisessa.

”Noin 40 S-Ryhmän toimipisteen katolle asennetaan aurinkopaneelit vuoden sisällä. Pohjoismaiden suurimman katoille asennettavan aurinkosähköjärjestelmähankkeen myötä S-Ryhmästä tulee Suomen suurin aurinkosähkön tuottaja.” S-Kanava 2018

”Sitten meillä on tää meidän aurinkosähköprojekti meneillään ja siinä on ajatuksena, että näihin kohteisiin mihin laitetaan aurinkopaneelit, niin laitetaan jonkinlainen ohjauslogiikka. Ainakin ohjataan niitä paneeleita, eli ne voidaan kytkeä sitten päälle tai pois jos on tarve... Se on siihen paneelien tuotantoon, mutta samalla katsotaan, kun sinne kohteeseen mennään, että voisiko laittaa myös ohjausta sinne sähkönkulutukseen.” S-Voima 2018

5.3.4. Toimintaympäristön muutos

Innovaatiopolkujen kokeiluilla pyritään muuttamaan laajemmin toimintakentän valintaympäristöä. Kokeilut, jotka saavat aikaan instituutioiden muutosta ovat murroksellisia. Yksi keino kokeilujen skaalautumiselle on toimintaympäristön muutos, joka poistaa kehitetyn ratkaisun leviämisen esteitä. Aineisto on kerätty pian kokeilun päättymisen jälkeen, joten mahdollisia vaikutuksia toimintakentän valintaympäristöön voisi arvioida menestyksekkäämmin vasta myöhemmin. Pian kokeilun päättymisen jälkeen ei ollut merkkejä, että VIRPA-B -kokeilu olisi saanut aikaan muutosta valintaympäristössä.

Kokeilun toimijat kuitenkin pyrkivät viestimään aiheesta laajemminkin ja viestimään kokeilun tuloksista. Tutkijat pitivät hyvänä tuloksena sitä, että kiinnostus kysyntäjoustoa kohtaan on kokeilun aikana kasvanut ja toimijaverkosto laajentunut. Tutkijat olivat mukana muun muassa konsultoimassa työ- ja elinkeinoministeriön Älyverkkotyöryhmää. Kokeilun tuloksista kirjoitettiin julkaisuja ja järjestettiin tiedotustilaisuus. Mukana hankkeessa oli myös kantaverkkoyhtiön edustajia, joten on mahdollista, että kokeilun tuloksilla on vaikutusta sähkömarkkinoiden sääntöjä uusittaessa.

”Hyvää keskustelua on ollut ja hyvä verkosto. Muutamia aktiivisia toimijoita jotka omilla toimillaan edistää ideoiden leviämistä sitten. VTT: kin on ollut mukana ja raportoitu älyverkkotyöryhmän kautta. Ollaan myös tehty tällänen White Paper tästä, joka on sitten julkaistu ja ollaan pyritty tökkimään tätä porukkaa eteenpäin, että hei tässä on ihan konkreettinen juttu joka pitäisi toteuttaa ja on meidän kannalta merkittävä kansaintaloudellisesti merkittävä, että miten me hankitaan meidän energia ja kuinka me hankitaan meidän sähkö tulevaisuudessa.” VTT 2018

Suomessa on samaan aikaan meneillään useita kysyntäjoustoon liittyviä kokeiluita ja hankkeita, jotka ovat jo lähempänä oikeaa liiketoimintaa kuin pilotteja (Annala ym. 2018b). Yksittäiset pilotit eivät välttämättä suuresti muokkaa kysyntäjoustomarkkinoita tai lisää sähkönkäyttäjien kiinnostusta.

Kantaverkkoyhtiö on kuitenkin mukana useissa kokeiluissa ja tekee aloitteita uusista kokeiluista aktiivisesti, voisi varovaisesti tulkita, että kokeiluiden tuloksilla tulee olemaan vaikutusta siihen millaisiksi kysyntäjoustoja koskevat markkinasäännöt tulevaisuudessa muodostuvat.

5.3.5 Yhteenveto

Analysoin kokeilun skaalautumista neljän käsitteen kautta. Kuvassa 5.1 on esitetty polut joiden kautta kokeilun opit skaalautuvat. Kokeilun päätyttyä ei ollut näkyvissä, että kokeilu olisi kasvamassa. Siitä huolimatta kokeilun opit vaikuttaisivat siirtyvän ja kasautuvan uusiin hankkeisiin niin, että jokin osa kokeilusta toistetaan uusissa kohteissa. VIRPA-B –kokeilu ei onnistunut radikaalisti muuttamaan toimintaympäristöä, mutta kokeilun toimijat ovat viestineet hankkeesta aktiivisesti ja osallistuneet alan keskusteluun. Aktiivisen vuorovaikutuksen kautta kokemukset leviävät muille alan toimijoille.



Kuva 5.1 Yhteenveto VIRPA-B –kokeilun skaalautumisesta.

6. Tulosten tarkastelu

Tutkielmassani tarkastelen kysyntäjousto kokeiluun osallistuvien toimijoiden näkemyksiä. Vastaavaa tutkimusta ei Suomessa tietävästi ole tehty innovaatiopolkujen strategisen hallinnan näkökulmasta. Tässä luvussa pohdin edellisessä luvussa esiteltyjen tulosten merkitystä aiemman tutkimuksen ja innovaatiopolkujen strategisen hallinnan kontekstissa. Tarkastelen, miten teoria soveltuu kysyntäjoustokokeilun sisäisten prosessien analysoimiseen. Lisäksi analysoin, millaista tietoa käytännön kokeilussa tuotettiin ja miten ne vastaavat aiempien tutkimusten tuloksia. Luvun toisessa osiossa tarkastelen kriittisesti tekemiäni menetelmävalintoja ja tutkimuksen rajoitteita.

6.1 Tutkielman tulokset aiemman tutkimuksen valossa

VIRPA-B –kokeilussa tutkittiin kysyntäjoustoa päivittäistavarakaupassa. Kokeilu oli ensimmäinen hanke Suomessa, jossa kysyntäjoustoon yhdistettiin kaupan kylmälaitteet, energianpientuotanto ja energiatehokkuus. Lopputuloksena oli VTT:n tutkijan mukaan maailman energiatehokkain päivittäistavarakauppa. Energiantuotannon ja energiatehokkuuden lisäksi tutkittiin, voidaanko kaupan sähkölaitteiden energiankulutusta aggregoimalla muodostaa virtuaalivoimalaitos, jonka säädettävää kysyntäjoustoa voitaisiin myydä sähkömarkkinoille. Teknologia mahdollistaisi päivittäistavarakauppojen osallistumisen sähköjärjestelmän tasapainon ylläpitämiseen. Kysyntäjoustop laajentaminen muuttaisi sähkönkäyttäjien roolin sähköjärjestelmässä entistä aktiivisemmaksi.

6.1.1 Odotusten ja visioiden jakaminen

Kokeiluun osallistui toimijoita, joilla kaikilla on erilainen rooli sähkömarkkinoilla. Vaikka toimijat tavoittelivat kokeilusta ratkaisuja omiin toimintamalleihinsa, visiot joustop tarpeen lisääntymisestä ja kysyntäjoustop kehittämisen suurista linjoista olivat hyvin samanlaiset. Tästä voi päätellä, että sähkömarkkinoilla vallitsee yhteisymmärrys kysyntäjoustop tarpeellisuudesta ja hyödyistä. Innovaatiopolkujen strategisessa hallinnassa yhteisten odotusten muodostaminen kokeilijoiden keskuudessa on tärkeä prosessi kokeilun onnistumisen kannalta (Kemp ym. 1998).

Kysyntäjoustomarkkinoita pyritään rakentamaan markkinaehtoisesti (työ- ja elinkeinoministeriö 2015). Haastateltavat kokivat markkinalähtöisyyden hyvänä lähestymistapana uuden liiketoiminnan rakentamiselle. Sähkömarkkinoiden murroksen myötä markkinaosapuolten rooli sähkömarkkinoilla tulee muuttumaan. Kokeiluun osallistuneet yritykset haluavat olla edelläkävijöitä, jotka pyrkivät aktiivisesti muokkaamaan kehittyviä teknologioita ja palveluita. Edelläkävijät pyrkivät aktiivisesti muokkaamaan teknologisia ja yhteiskunnallisia käytäntöjä, eli luomaan polkuja (*path creation*) toivottavien visioiden saavuttamiseksi (Lovio ym. 2011). Kokeilujen avulla toimijat kokevat pääsevät vaikuttamaan ja kehittämään valmiuksia, joilla ne pystyvät reagoimaan nopeasti sähkömarkkinoilla tapahtuviin muutoksiin.

Kokeilussa ei tutkittu kysyntäjoustop ympäristövaikutuksiin, mutta kokeilijat kokivat sen ympäristön kannalta parempana vaihtoehtona uusien tuotantolaitosten rakentamiselle. Toimijoiden visioissa kysyntäjousto on kuitenkin keskeinen elementti hiilineutraalissa sähköverkossa. Sähkönkäyttäjän näkökulmasta kysyntäjoustop etuna verrattuna uuden säädettävän tuotannon rakentamiseen on, että siinä yhdistyy niin taloudellisuus kuin vastuullisuus. Kokeiluun osallistuneet näkevätkin kysyntäjoustop kehittämisen ja siihen osallistumisen vastuullisena liiketoimintana. Investointeja ohjaavat taloudelliset kannustimet, mutta yhtä aikaa niistä viestitään myös ympäristötekoina. Tieteellisessä kirjallisuudessa kysyntäjoustop ympäristövaikutuksia on tutkittu varsin vähän ja usein teoreettisten mallinnusten pohjalta. On todettu, että energiankulutuksen siirtäminen vähentää päästöjä silloin, kun kulutus voidaan kattaa uusiutuvan energian tuotannolla (Kopsakangas-Savolainen ym. 2017). Lisäksi kysyntäjoustop nähdään mahdollistavan uusiutuvan energian tuotannon lisääminen (Albadi & El-Saadany 2008). Se millaisin mekanismein kysyntäjousto mahdollistaa uusiutuvan energiantuotannon lisääntymiseen on kuitenkin jäänyt vähäiselle huomiolle. VIRPA-B – kokeilusta voidaan ehkä vetää alustavia päätelmiä siitä, millaisia yhteishyötyjä kysyntäjoustopilla ja uusiutuvalla energiantuotannolla voidaan saavuttaa päivittäistavarakaupan kaltaisissa kaupallisissa liiketoimintatiloissa. Lisää tutkimusta tarvitaan teknologioiden yhteisvaikutuksista ja miten investoinnit tukevat toisiaan.

Kokeilun toimijoiden jaetut odotukset tukevat innovaatiopolun kehitystä, kun ne ovat riittävän yksityiskohtaisia ja perustuvat tutkimukseen (Schot & Geels 2008). Tulokset osoittavat, että haastateltavien visiot kysyntäjoustop merkityksestä tulevaisuuden sähköjärjestelmässä olivat yhdenmukaiset. Osallistujat olivat yhtä mieltä, että sähköjärjestelmän muutos lisää joustop tarvetta ja samalla se mahdollistaa sähköjärjestelmän irtikytkennän fossiilisesta sähköntuotannosta. Joustavuutta toimijat haluavat lisätä markkinaehtoisesti, ympäristöystävällisesti sekä taloudellisesti kannattavasti. Toimijoiden visiot perustuvat yleisesti kysyntäjoustopon liitettyihin hyötyihin, joita ovat

analysoineet muun muassa Albadi ja El-Saadany (2008). Mutta esimerkiksi verkon luotettavuuden parantuminen ja tehostuminen eivät nousseet haastateltavien näkemyksessä esille paitsi kantaverkkoyhtiön edustajan haastattelussa.

Vaikka kaikki toimijoiden kokeilulle asettamat tavoitteet eivät täysin täyttyneet, eivät toimijoiden visiot merkittävästi muuttuneet kokeilun aikana. Innovaatiopolkujen strategista hallintaa onkin kritisoitu siitä, kokeilussa visiot eivät kehity oppimisen myötä (Schot & Geels 2008). On mahdollista, etteivät visiot muuttuneet, koska kokeilun tulosten ja vision välillä ei ollut suurta ristiriitaa. Kokeilun asetelmalla ei niinkään ole tarkoitus testata kysyntäjouston liittyviä odotuksia, vaan löytää ratkaisuja vision toteuttamiseksi. Visioita saattavat vahvistaa myös kokeilun ulkopuoliset tekijät, kuten toimialan yleinen kehitys.

6.1.2 Oppiminen

Kokeilut tarjoavat alustan omien odotusten esiintuomiselle, mutta myös erilaisten intressien yhteensovittamiselle (Schot & Geels 2008). Monet haastateltavat toivat esille, että kokeiluiden aikana ideat ja suunnitelmat kehittyvät koko ajan ja toimintatavat muotoutuvat kokeilun edetessä. Kokeiluilla oli merkittävä rooli organisaatioiden sisäisen osaamisen kasvattamisessa sekä verkostoitumisessa muiden toimijoiden kanssa. Esimerkiksi Rejlers toi esille yhteistyön merkityksen uuden toimialan kehittämisessä ja toimijoiden näkemysten yhteensovittamisessa. Uusien verkostojen luominen myötävaikuttaa kognitiivisten kehitysten ja oletuksien muuttumiseen (Schot & Geels 2008).

Oppimisen artikuloitintiprosesseja kuvaava viitekehys tuo esille, miten monipuolista sosioteknistä oppimista kokeilut mahdollistavat (Kemp ym. 1998). Merkittävimmät opit VIRPA-B –kokeilusta liittyivät markkinoiden toimintaan, käyttäjien vaatimuksiin sekä teknologian soveltamiseen. S-Ryhmä on osallistunut jo useaan kokeiluun ja markkinapaikkojen ylläpitäjä Fingrid järjestää kokeiluja uusien aggregointiin liittyvien toimintamallien luomiseksi. Vasta kokeiluilla on voitu S-Ryhmässä mitata todellinen kiinteistössä oleva kysyntäjoustokapasiteetti. Kylmälaitteiden säätämistä päivittäistavarakaupassa kokeiltiin ensimmäistä kertaa. Aikaisemmin on tietävästi tehty kokeiluja vain testiolosuhteissa, jotka eroavat oleellisesti toiminnassa olevan kaupan olosuhteista (O'Connell ym. 2014c). VIRPA-B –kokeilussa todettiin, että päivittäistavarakaupan sähkölaitteissa on ohjattavaa kulutusta, joka soveltuu sähköverkon tasapainottamiseen.

Kysyntäjousto voidaan toteuttaa ilman havaittavia muutoksia kaupan olosuhteissa, mutta liiketilat voivat osallistua kysyntäjoustoon vain niin kauan, kun olosuhteet pysyvät samoina sähkönkulutuksen laskusta huolimatta. Toisaalta samoja laitteita ei tarvitse säätää olla yhtä jaksoisesti puolta tuntia vaan säädettävät laitteet voivat vaihtua, kunhan kysyntäjouston määrä pysyy samana. VIRPA-B -kokeilun perusteella kaupansähkölaitteet reagoivat ohjaussignaaleihin nopeasti, minkä ansiosta niitä voitaisiin käyttää nopealla vasteajalla verkon tasapainottamiseen. Vaikka sähkönkulutus on ennen nähty melko joustamattomana (Aalto ym. 2012), automaattinen sähkönkulutuksen ohjaus voi siis osoittautua tulevaisuudessa yhtä merkittäväksi tavaksi tasapainottaa verkkoa kuin tuotannon säätäminen kulutuksen mukaan.

Kokeilussa pystyttiin osoittamaan, ettei kysyntäjoustoon osallistuminen vaaranna tuotteiden laatua tai häiritse kaupan toimintaa. Epävarmuus yrityksen ydintoiminnalle aiheutuvista riskeistä on yksi merkittävimmistä esteistä uuden ympäristöystävällisen teknologian käyttöönotossa (Olsthoorn, Schleich & Klobasa 2015). Koska uusilla teknologioilla on erilaiset vaatimukset infrastruktuurin ja sääntelyn standardien suhteen kuin vallitsevilla teknologioilla, niihin suhtaudutaan usein epäillen (Smith & Raven 2012). Kokeilu siis auttoi vähentämään epäilyksiä kysyntäjouston soveltuvuudesta kylmälaitteille. Sähkönkäyttäjän mukaan osuuskaupat ovat suhtautuneet kysyntäjouston kokeiluun avoimesti. Osuuskauppojen hyväksyntä on edellytys kysyntäjouston yleistymiselle S-Ryhmässä, koska osuuskauppojen on oltava valmiita investoimaan kokeiluihin. Siten kokeiluista saadut hyvät kokemukset toimivat myös perusteena tuleville investoinneille. Päivittäistavarakaupan omistajien ja sidosryhmien suhtautuminen vaikuttavat siihen miten myönteisesti kysyntäjoustoon suhtaudutaan (Ma ym. 2017).

Kokeiluun osallistuneet toimijat jakoivat näkemyksen, että teknologia ei ole este kysyntäjoustoon osallistumiselle. Kokeilussa oli mukana kaksi erilaista päivittäistavarakauppaa ja tulosten perusteella vaikuttaisi siltä, että kysyntäjoustoteknologia kannattaa ottaa huomioon jo rakennusvaiheessa, jolloin olisi mahdollista myös optimoida sähkölaitteita jouston suhteen. Vaikka kirjallisuudessa esitetään, että liiketilojen automatiikka ja mittausjärjestelmät antavat hyvät lähtökohdat kysyntäjoustoon osallistumiseen (O'Connell ym. 2014c; Ma ym. 2017), kokeilut ovat osoittaneet, että päivittäistavarakauppojen vakiintuneet mittaus- ja automaatiojärjestelmät eivät kuitenkaan riitä kysyntäjouston toteuttamiseen. Kysyntäjoustoon osallistuminen vaatii siis päivittäistavarakaupoilta lisäinvestointeja esimerkiksi mittausjärjestelmiin.

Mittausteknologian asennuksessa oli kokeilun alussa haasteita, jotka viittaavat siihen, että teknologian asennus ja IT-järjestelmien rajapinnat eivät ole vielä standardisoituneet. Toisaalta

kokeilusta myös opittiin ja seuraavat asennukset tehtäisiin nopeammin. Kysyntäjouaston huomioiminen rakennusmääräyksissä on yksi keino edistää teknologian yleistymistä ja lisätä sähkökäyttäjien valmiutta kysyntäjouastoon osallistumiselle (Annala ym. 2018a). Samalla se edellyttäisi mittauslaitteiston vaatimusten yhtenäistämistä. Nykyinen uusien rakennusten energiatehokkuusasetus edellyttää, että rakennuksissa on sähkönkulutuksen mittaamisen mahdollistavia mittauslaitteita, mutta valmiutta kysyntäjouastoon ei vielä edellytetä (Ympäristöministeriö 2017).

Kokeilu osoitti muitakin haasteita, joita pienten kulutuskohteiden hyödyntämiseen vielä liittyy. Innovaatiopolkukokeilut tarjoavat oppimisalustan sääntelyn ja markkinoiden muodostamien esteiden tunnistamiselle (Kemp ym. 1998). S-Ryhmä on aiemmissa piloteissa todennut, että sähkölaitteiden ohjaaminen pörssisähkön hintavaihteluiden mukaan ei ole päivittäistavarakaupoissa kannattavaa. Tuntihinnoittelua ja hinnanvaihtelun lisäämistä on Euroopan tasolla ehdotettu yhtenä ohjauskeinoa kysyntäjouaston lisäämiseksi (Euroopan komissio 2017). Myös suomalaisille sähkölaitoksille tehdyssä kyselyssä tuntihinnan vaihtelu koettiin parhaana tapana sitouttaa asiakkaita kysyntäjouastoon (Annala ym. 2018a). Suuren sähkökäyttäjän näkökulmasta sähkönhinnan vaihtelun lisääminen ei kuitenkaan ole toivottavaa, koska se lisää yrityksen taloudellista epävarmuutta. VIRPA-B –kokeilulla haettiin ratkaisua, jolla pienet aggregoitavat kohteet voisivat osallistua sähkömarkkinoille.

Tulosten perusteella näyttää siltä, että päivittäistavarakaupoissa on kapasiteettia sähkönkulutuksen joustolle, mutta nykyiset sähkömarkkinoiden säännöt estävät kysyntäjouasto investointeja kolmella tavalla. Ensimmäinen este on säädön todentaminen. Kokeilun tulosten perusteella sähkölaitteille on ominaista sähkönkulutuksen heilahtelu. Samanlaisia tuloksia on saatu myös, kun kylmälaitteita on säädetty testiolosuhteissa. Ilmiötä kutsutaan jouaston saturaatio ajaksi eli laitteet voivat ylläpitää säätöä vain tietyn aikaa, johtuen laitteiden teknisistä ominaisuuksista (O'Connell ym. 2014b). S-Ryhmässä on todettu, että laitteiden kulutuksen hetkellinen lisääminen on helpommin todennettavissa kuin kulutuksen vähentäminen. Kulutuksen heilahteleminen johtaa siihen, että sähkönkuluttaajalla ja markkinapaikan ylläpitäjällä on erilaiset tulkinnat tapahtuneesta säädöstä. Laitteiden säätökapasiteetti on eri asia kuin se, kuinka paljon kantaverkkoyhtiö tulkitsee säätöä tapahtuneen. Haastateltavat totesivat, että siitä syystä markkinapaikkojen säännöissä olisi yksiselitteisesti määriteltävä, miten kysyntäjouasto todennetaan. Kokeilun tulos viittaa siihen, että kysyntäjouastosopimuksia voi joissain tapauksissa olla hankala tehdä, koska osapuolet ovat eri mieltä siitä, miten säätö tulisi mitata. Kysyntäjouaston todentamiseen liittyvä haaste on tunnistettu myös laajemmin Euroopan sähkömarkkinoilla (SEDC 2015). Standardisointia tarvitaan, jotta luottamus markkinaosapuolten välillä säilyy.

Toinen kokeilussa esille tullut este on investointien kannattavuus. VIRPA-B –kokeilu antaa viitteitä, että pienten kohteiden aggregointi ei ole riittävän houkuttelevaa sähkökuluttajille ja aggregaattoreille. Nykyiset markkinasäännöt on laadittu järjestelmään, jossa toimijat ovat isoja keskitettyjä tuotanto- ja kulutuskohteita. Suomi kuvataan kysyntäjoustoystävälliseksi maaksi, koska kansainvälisesti vertaillen markkinapaikkojen minimivaatimukset ohjattavan kuorman suhteen ovat melko alhaiset (Paterakis ym. 2017; SEDC 2017). Toisaalta VIRPA-B –kokeilu osoitti, että sähkökäyttäjän näkökulmasta markkinapaikoille pääseminen edellyttää silti liian korkeita minimikuormia. Tarvittavan kapasiteetin aggregoimiseksi tarvitaan useita kymmeniä kohteita, jolloin myös investointikulut kasvavat. Investointikustannus itsessään ei ole toimijoiden mielestä ongelma, mutta markkinoilta saatava korvauksen suuruus jää epävarmaksi. Investointeja on vaikea perustella, kun ne eivät kohdistu yrityksen ydintoimintaan kehittämiseen. Kysyntäjoustop arvo muodostuu sähkömarkkinoilla, jolloin sen arvo vaihtelee kysynnän ja tarjonnan mukaan. Aiemmissa tutkimuksissa on tunnistettu, että riittämättömät taloudelliset kannustimet sähkön kysyntäjoustop osallistumiseksi ovat merkittävä kysyntäjoustop käyttöä estävä este (Paterakis ym. 2017; Annala 2018a). VIRPA-B –kokeilun perusteella investointien kannattavuus muodostuu monesta tekijästä, kuten investointien suuruudesta, megawatin hinnasta kysyntäjoustopmarkkinoilla, sekä sähkölaitteiden elinkaaresta.

Investointikustannukset saattavat myös estää palveluita tarjoavien itsenäisten aggregaattoreiden tulon markkinoille. Investointikulujen lisäksi itsenäisen aggregaattorin on maksettava kuukausittainen 200 euron maksu markkinoiden ylläpitäjälle sekä varauduttava konkurssiin 200 000 euron pankkitalletuksella (SEDC 2015). Markkinoille pääsemisen kustannukset voivat nousta liian korkeaksi pienille itsenäisille aggregaattoreille. Toisaalta myöskään aggregaattorien toimintaan määrittelevä lainsäädäntö ei ole vielä kehittynyt (Pahkala ym. 2017).

Vaikka investointeja ei nähty vielä taloudellisesti kovin kannattavina, kaikki toimijat suhtautuivat kysyntäjoustop liiketoimintamahdollisuuksiin toiveikkaasti ja näkevät kysyntäjoustop merkityksen kasvavan tulevaisuudessa. S-Ryhmässä luotetaan siihen, että kysyntäjoustop taloudelliseen kannattavuuteen liittyvät esteet ovat ratkaistavissa ja oikea malli kysyntäjoustop laajamittaiseen osallistumiseen keksitään tulevaisuudessa. Kysyntäjoustopia halutaan edistää ja sen kehitystä halutaan tukea, mutta sähkökäyttäjän näkökulmasta siihen osallistuminen laajassa mittakaavassa ei ole houkuttelevaa.

Kolmanneksi esteeksi tuloksista nousee sähköjärjestelmän muutos. Kokeiluun osallistuneet sähkökäyttäjät ja palvelunkehittäjät eivät olleet valmiita tekemään isoja investointeja, koska

markkinasääntöjen uskottiin muuttuvan lähitulevaisuudessa. Markkinapaikan ylläpitäjä Fingrid, on tunnistanut tarpeen sääntöjen ja markkinapaikkojen kehittämiseksi ja yrittää mahdollistaa pienten kulutuskohdeiden osallistumisen markkinoille (Fingrid 2016). Markkinasääntöjen ja markkinapaikkojen muutokseen suhtaudutaan jossain määrin ristiriitaisesti, koska toimijat haluavat muutosta markkinasääntöihin, jotta kysyntäjouksoon osallistuminen olisi taloudellisesti kannattavaa ja nykyistä yksinkertaisempaa myös pienille aggregoitaville kohteille. Mutta samaan aikaan toimintaympäristön murroksessa investointien riskit kasvavat liian suuriksi, minkä takia toimijat aikailevat laajamittaisten kysyntäjoukko investointien tekemistä. Palveluiden ja markkinoiden keskeneräisyys on merkittävä haaste teknologian yleistymiselle (O'Connell ym. 2014b).

Kokeilu toi esiin esteitä, jotka ilmenevät teknisten mittauksien ja markkinasääntöjen rajapinnalla. Myös aiemmassa tutkimuksessa on todettu markkinasääntöjen olevan ensimmäinen este kysyntäjoukon hyödyntämiselle (Paterakis ym. 2017). Markkinasäännöt ovat kysyntäjoukko teknologiaa täydentävä institutionaalinen komponentti. Ilman soveltuvia markkinasääntöjä sähkökäyttäjillä ei ole kannustinta osallistua kysyntäjoukkoon. Toisaalta myöskään uusia aggregaattoreita ei tule markkinoille, jos niiltä saatavat korvaukset eivät ole taloudellisesti kannattavia suhteessa investointeihin. Samat haasteet ovat nousseet esiin myös Älyverkkotyöryhmän väliraportissa (Pahkala ym. 2017). Tulosten samankaltaisuus ei ole täysin sattumaa, koska VIRPA-B -kokeiluun osallistuneet toimijat ovat raportoineet tuloksistaan myös Älyverkkotyöryhmässä.

Esteiden tunnistamisen lisäksi kokeilujen tulisi nostaa keskusteluun ratkaisuehdotuksia (Kemp ym. 1998). Kokeiluun osallistuneilla toimijoilla syntyi näkemyksiä siitä, minkälaisilla toimilla kysyntäjoukon kehitystä voitaisiin tukea. Innovaatiopolkujen strateginen hallinta tunnistaa kolme innovaatiopolkujen tukemisen muotoa: suojaaminen, kehittäminen sekä voimaannuttaminen (Smith & Raven 2012). VTT ehdottaa markkinapaikkojen sääntöjen muokkaamisen sijaan uuden digitaalisen säätösähkömarkkinapaikan perustamista (Känsälä & Hammar 2018). Digitaalisella alustalla kysyntäjoukkoa voitaisiin myydä ja ostaa nopeilla vasteajoilla. Erillisen markkinapaikan avaamisen etuna olisi, että markkinapaikkojen sääntöjä ei tarvitsisi sopeuttaa monenlaisille tuotanto- ja joustokohdille vaan erilaisille kohteille olisi omat, niille soveltuvat säännöt. Erillinen markkinapaikka suojaisi innovaatiopolkua perinteisten markkinatoimijoiden kilpailulta (vrt. Smith & Raven 2012).

Suojaamisen lisäksi hallitsevia toimintamalleja muuttamalla (*stretch and transform*) voidaan voimaannuttaa innovaatiopolun kehitystä (Smith & Raven 2012). Kulutuksen mittaamisessa tulisi toimijoiden mielestä siirtyä tunnin mittausjaksosta, eli tasejaksosta 15 minuutin tasejaksoon. VTT:n

mukaan mittausajan lyhentäminen mahdollistaisi paremmin tapahtuneen säädön todentamisen, mikä parantaisi kulutuskohteiden asemaa markkinoilla (Känsälä & Hammar 2018). Tasejakson lyhentämisestä 15 minuuttiin on keskusteltu myös Euroopan unionin tasolla sähkömarkkinoiden integroinnin yhteydessä ja se astuu voimaan vuonna 2025 (Euroopan komissio 2017, s. 42-43). Tasejakson lyhentämisellä pyritään yhtenäistämään eurooppalaisia standardeja, jotta sähkömarkkinat sopeutuisivat paremmin vaihtelevan tuotannon ja säädöntarpeen lisääntymiseen.

Sähkökäyttäjän kannalta olisi ihanteellista, jos vastineena kysyntäjoustoinvestoinneista saisi takuun sähkömarkkinoille pääsystä. Takuu vähentäisi mittarointi- ja automaatioinvestointeihin liittyviä riskejä, mikä saattaisi vauhdittaa kysyntäjoustop käytöönottoa joidenkin sähkökäyttäjien keskuudessa. Toisaalta jos markkinoille on paljon tulijoita se vaikuttaa kysyntäjoustop arvoon. Kilpailu markkinoille pääsystä laskee joustavalle tuotannolle ja kysynnälle maksettavia korvauksia. Silti suuren sähkökäyttäjän näkökulmasta kaikki teot kysyntäjoustop lisäämiseksi ovat tärkeitä. Kun jousto toteutetaan markkinaehtoisesti sähkökäyttäjät välttyvät kuluilta, jotka koituvat muista keinoista tasapainottaa sähkömarkkinoita, kuten uusien säätövoimaloiden rakentamisesta.

VIRPA-B –kokeilun perusteella, teknologioita optimoimalla ja yhdistämällä voidaan saada merkittäviä synergiahyötyjä. Kysyntäjoustop avulla voidaan edistää uusiutuvien ja vaihtelevan sähköntuotannon lisäämistä (Albadi & El-Saadany 2008). Kokeilussa todettiin, että aurinkopaneeleilla voidaan leikata kiinteistön kulutushuippuja. Päivittäistavarakaupat eroavat monista muista kiinteistötyypeistä siinä, että niiden energiankulutus on suurinta kesällä, koska kylmälaitteiden energiankulutus on silloin suurimmillaan. Parhaimmillaan aurinkopaneelien tuotanto kattaa kylmälaitteiden kulutuksen kesäaikaan, jolloin tuotanto- ja kulutushuiput kohtaavat. Energiatehokkuus ei näyttänyt merkittävästi vähentävän sähkölaitteiden kysyntäjoustop kapasiteettia. Kokeilussa havaittiin, että kylmälaitteiden optimointi mahdollisti niiden paremman säädettävyyden, mikä kompensoi energiatehokkuuden vaikutuksen sähkölaitteiden kokonaiskulukseen ja siten myös kysyntäjoustop kapasiteettiin.

Teknologioiden välisen vuorovaikutuksen tutkiminen laajentaisi analyttistä kehystä (Schot & Geels 2008) ja sen avulla voitaisiin luoda uusia kestäviä toimintamalleja rakentamiseen ja sähköjärjestelmään hallintaan. Kokeilu antaa viitteitä siitä, että yhdistelemällä energiateknologioita (sähkönpientuotantoa, energiatehokkuutta ja kysyntäjoustop) voidaan saavuttaa merkittäviä etuja rakennuksen energiajärjestelmän kannalta. Teknologioilla voikin mahdollisesti olla toisiaan täydentäviä ominaisuuksia (Markard & Hoffmann 2016). Näiden teknologioiden toteuttaminen yhtenä kokonaisuutena voisi merkittävästi edistää niin kysyntäjoustop kuin uusiutuvan energian

käyttöönottoa. Edistyneillä energiajärjestelmillä voitaisiin mahdollisesti saavuttaa huomattavia kustannussäästöjä ja vähentää hiilidioksidipäästöjä kiinteistön elinkaaren aikana.

6.1.3. Skaalautuminen

Ilmastonmuutosta hillitsevien teknologioiden skaalautuminen on hidas prosessi (Schot & Geels 2008), joten pian kokeilun päättymisen jälkeen kerätystä aineistosta ei voida arvioida pitkän aikavälin vaikutuksia. Skaalautumista ja sen prosesseja on tutkittu varsin vähän (Naber ym. 2017). VIRPA-B –kokeilu onnistui siinä, että toimijoiden käsitys teknologian soveltamisesta, markkinoista ja markkinaosapuolten motiiveista tuli selvemmäksi. Merkittävimmäksi skaalautumisen esteeksi näyttäisi muodostuneen taloudellinen kannattavuus. VIRPA-B –kokeilu päättyi, mutta sen opit skaalautuvat muilla tavoin. Kokeilu näyttääkin ensisijaisesti johtavan uusiin kokeiluihin ja tutkimushankkeisiin. Tosin aiemmassa tutkimuksessa on tunnistettu, että teknisesti ja taloudellisesti kannattavat kokeilutkaan eivät välttämättä skaalaudu odotetulla tavalla (Naber ym. 2017). Tutkielma laajentaa Naberin ja kollegoiden (2017) luokittelua, jossa tarkastellaan sisäisten prosessien suhdetta skaalautumiseen.

Kokeiluun osallistuneilla tahoilla on kuitenkin halua voimaannuttaa (*Empower*) eli parantaa kysyntäjoustopuolien edellytyksiä kokeilun päätyttyä. Innovaatiopolun kehittämisessä tärkeää on ylläpitää jatkuvaa kehitystä, jotta kokeilujen opit eivät jää hyödyntämättä (Raven 2005). Toimijat kokevat, että kysyntäjoustopuolia voidaan paremmin edistää muokkaamalla nykyisiä markkinasääntöjä kysyntäjoustopuolille edullisemmiksi sen sijaan, että kysyntäjoustopuolia yritetään sopeuttaa vallitseville markkinapaikoille (Smith & Raven 2012). Kokeilu tuokin esiin, että toimijoilla on erilaisia strategioita voimaannuttaa kysyntäjoustopuolia ja muuttaa toimintaympäristöä. Kantaverkkoyhtiö pyrkii pääasiassa sopeuttamaan kysyntäjoustopuolia nykyiseen toimintamalliin (*fit-and-conform*), vaikka se onkin valmis myös uudelleen tarkastelemaan markkinapaikkojen sääntöjä. Toiset kokeiluun osallistuneet toimijat taas toivovat muutoksia vallitsevissa toimintamalleissa (*stretch-and-transform*), jotka mahdollistaisivat kysyntäjoustopuolien yleistymisen.

Kokeilut ovat keino osallistaa markkinaosapuolia kysyntäjoustopuolien kehittämiseen (Kemp ym. 1998). Toimijat saattavat pyrkiä myös omien näkemystensä edistämiseen. Sähkökäyttäjillä, aggregaattoreilla ja markkinapaikan ylläpitäjällä, on omat intressinsä kysyntäjoustopuolien ja markkinoiden kehityksessä. Aiemmassa kirjallisuudessa onkin nostettu esiin huoli siitä, kun kaikki toimijat pyrkivät maksimoimaan omat hyötynsä sen sijaan, että pyrittäisiin maksimoimaan teknologian laajemmat yhteiskunnalliset hyödyt (Paterakis ym. 2017). Toimijoiden väliset intressiristiriidat voivat estää

kysyntäjoustopotentialin hyödyntämisen. Esimerkiksi suuret korvaukset saattavat vaarantaa markkinoiden toiminnan ja lisätä kaikkien sähkönkäyttäjien maksuja. Toisaalta kirjallisuudessa on myös esitetty, että erilaisten strategioiden ei tarvitse olla ristiriidassa keskenään, koska kaikki toimijat jakavat samankaltaisen vision ja tunnistavat sähköjärjestelmän murroksen. Tällöin molemmat strategiat voivat toimia yhdessä innovaatiopolun voimaannuttamisessa (Smith & Raven 2012).

Kokeilun aikana ei kuitenkaan tapahtunut merkittäviä läpimurtoja kysyntäjoustopotentialin kehittämisenä. Yksi haastateltava kuitenkin totesi, että kysyntäjoustopotentialista kiinnostunut toimijaverkosto on laajentunut projektin aikana. Kokeilu on herättänyt kiinnostusta asiantuntijoiden keskuudessa ja kokeilusta on raportoitu erilaisissa asiantuntija tilaisuuksissa kuten työ- ja elinkeinoministeriön asettamassa Älyverkkotyöryhmässä (Pahkala ym. 2017). Suomen kysyntäjoustopotentialia tarkasteltaessa voi kuitenkin havaita, että kokeilut vaikuttavat olevan strategia, jolla toimijat aikovat sovittaa yhteen odotuksiaan ja vaatimuksiaan. Samaan aikaan on käynnissä useita kokeiluja, mutta niiden lisäksi kysyntäjoustopalvelut ovat tulossa osaksi sähkölaitosten ja energiahallintayritysten palveluvalikoimaa (Annala ym. 2018b). Vakiintuneiden toimijoiden kohdalla kokeiluista on siirrytty jo palveluihin, mikä saattaa kiihdyttää murrosta (Schot & Geels 2008).

Tämän tutkielman puitteissa ei voi tehdä päätelmiä siitä, miten tehokkaasti opit liikkuvat eri kokeilujen välillä. Mutta tulokset viittaavat siihen, että innovaatiopolun sisällä oppeja siirretään uusiin kokeiluihin ja hankkeisiin. Voisikin tulkita, että kokeilut ovat toimijoille keino päästä vaikuttamaan ja osallistumaan uuden toimialan kehitykseen pienillä investoinneilla. Pilottikohteet toimivat todisteena toimijoiden osaamisesta ja asiantuntijuudesta ja joiden avulla pääsee tuomaan näkemyksiään paremmin esille. Asiantuntijuus on merkityksellistä etenkin toimiympäristön, kuten sähköjärjestelmän muutoksessa. Toisaalta kokeilut ovat myös toimijoille investointi. Tässä valossa uusien kokeilujen syntymien VIRPA-B:n pohjalta on osoitus toimijoiden sitoutumisesta ja luottamuksesta jaettuun visioon. Samaan aikaan uudet tutkimushankkeet, kokeilut ja investoinnit toimivat jatkumona innovaatiopolulle, vaikka yksittäinen kokeilu ei kasvaisikaan (Naber ym. 2017). Kokeilijoiden kokemusten ja aikaisemman tutkimuksen perusteella kysyntäjoustopotentialin yleistäminen ja markkinapaikkojen kehittäminen vaativat vielä pilotteja ja tutkimusta ennen kuin kysyntäjoustopotentialista tulee toimijoille kannattavaa. Saman johtopäätöksen ovat tehneet myös Annala ja kollegat (2018a). Toimijat toivat esille, että kokeilujen olisi loputtava jossain vaiheessa ja kysyntäjoustopotentialissa olisi siirryttävä oikeaan liiketoimintaan.

Naberin ja kumppaneiden (2017) luokittelu skaalautumisen eri muodoista kattaa erilaiset polut kokeilun jatkumisesta valintaympäristön muutokseen. Siinä missä Naber ja muut (2017) olivat kiinnostuneita kokeilun sisäisten prosessien ja skaalautumisen suhteesta, tässä tutkielmassa tarkastelu keskittyy oppimisen skaalautumisen eri muotoihin. Joissain tapauksissa aloitteiden luokittelu jättää kuitenkin tilaa tulkinalle. Esimerkiksi S-Ryhmän aurinkopaneeli-investoinnit olisi saattanut luokitella myös toistamiseksi, mutta koska painopiste on enemmän aurinkovoimassa kuin kysyntäjoustossa, luokittelin sen kokeilun oppien kasautumiseksi. Tutkielman tulokset tuovat esille, miten monella eri tavalla kysyntäjoustokokeilun opit voivat skaalautua.

6.2 Tutkielman kriittinen tarkastelu

Tässä kappaleessa pohdin tutkielmani rajoituksia ja luotettavuutta kriittisesti. Tutkielmassani tarkastelen kysyntäjoustoprojektin kehittymistä osana sähköjärjestelmän kestävyysmurrosta. Tutkielman näkökulmaksi valikoitui uuden teknologian kehittäminen Innovaatiopolkujen strategisen hallinnan kehityksessä. Teoria sopii kokeilujen sisäisten prosessien luokitteluun. Valitsemani viitekehys suuntasi tutkimusasetelmaani ja tulokset voisivat olla erilaiset, mikäli olisin valinnut erilaisen lähestymistavan. Toisaalta kokeilut vaikuttaisivat olevan toimijoiden itsensä valitsema keino edistää uuden toimialan kehitystä. Lisäksi halusin tarkastella kysyntäjoustoprojektia kestäväksi vaihtoehtona säästövoiman rakentamiselle. Kokeilijoiden näkemykset ja opit tuovat esille kysyntäjoustoprojektin kannalta keskeisiä haasteita, mutta myös tavoitteita ja kehitysehdotuksia. Kysyntäjoustoprojektin kokeiluita ei ole tiedettävästi analysoitu innovaatiopolkujen strategisen hallinnan viitekehyksen avulla, joten tutkielma tuo uutta näkökulmaa aikaisempaan kysyntäjoustoprojektitutkimukseen. Samankaltaisia tuloksia on saatu myös asiantuntijoille tehdystä kyselystä ja Älyverkkotyöryhmän väliraportissa, joten tutkielman tulokset siinä suhteessa vaikuttaisivat heijastelevan alan näkemyksiä laajemmin (Annala ym. 2018a; Pahkala ym. 2017).

Tutkielmani perustuu yhteen valitsemani tapaustutkimukseen eivätkä tulokset siksi ole suoraan sovellettavissa koko rakennuskantaan tai kysyntäjoustoprojektimarkkinoille yleisesti. VIRPA-B –kokeilun aikana on toteutettu muitakin kokeiluja, joista osa on jo kehittynyt pilotista palveluksi (Annala 2018b). Tarkastelemassani kokeilussa havaitut esteet eivät siis välttämättä näyttäytyä samanlaisena kaikille kulutuskohdille. Useamman tapaustutkimuksen vertailu olisi antanut laajemman kuvan kehittyvästä toimialasta. Toisaalta vertailun tekemisessä on myös haasteita, koska

kysyntäjoustokohteet eroavat toisistaan osallistumismahdollisuuksien suhteen. Tulevaa tutkimusta voisikin suunnata laajemmin kysyntäjoustotoimialan kehityksen tutkimiseen esimerkiksi hyödyntämällä teknologiset innovaatiojärjestelmien mallia (Markard & Truffer 2008).

Syventyminen yhteen tapaukseen mahdollisti kuitenkin syvemmän perehtymisen tutkielman kohteeseen. Samalla syventyminen kuitenkin rajasi haastateltavajoukkoa, koska kaikki kokeiluun osallistuneet eivät olleet seuranneet kokeilua kovin tarkasti tai heillä ei ollut osuutta kysyntäjoustoprosessin tutkimisessa. Aineistosta voi myös puuttua joitakin tahoja, joita olisi ollut hyödyllistä haastatella. Tutkimustulosten yleistettävyyteen vaikuttaa myös suhteellisen pieni haastatteluaineisto. Viimeinen haastattelukierros suoritettiin pian hankkeen loputtua. Tästä syystä aineisto ei välttämättä kata kaikkia tapoja, joilla VIRPA-B -kokeilun tuloksia tullaan toimijoiden keskuudessa hyödyntämään tulevaisuudessa.

Olen kerännyt aineistoni monista eri lähteistä hyödyntäen haastatteluaineistoa sekä kirjallisia lähteitä. Triangulaatio eli useiden eri lähteistä kerättyjen aineistojen vertailu parantaa tutkimuksen luotettavuutta (Yin 2009). Osa käyttämistäni lähteistä perustuu mediassa julkaistuihin artikkeleihin, jolloin artikkelit eivät ole suoraan kokeilijoiden itsenä kirjoittamia. Olen pyrkinyt vertailemaan ja analysoimaan erilaisia aineistoja kriittisesti lähteestä riippumatta. Laadullinen sisällönanalyysi on aina subjektiivinen. Menetelmälle on tyypillistä, että tutkija on aktiivisessa vuoropuhelussa aineistonsa kanssa (Koistinen & Erikson 2014). Pyrin nostamaan toimijoiden ajatuksia tuloksissa esille puolueettomasti ja vääristelemättä. Luvussa 4.4 olen avannut tekemieni valintojen ja luokittelun taustoja. Vaikka hyödynsin kirjallisuudessa paljon käytettyjä koodeja ja käsitteitä, aineiston luokittelu omiin kategorioihinsa ei aina ollut yksiselitteistä. Erityisesti haastateltavien esiin tuomat ristiriidat markkinoiden ja käyttäjien vaatimuksissa vaativat erityistä pohdintaa luokittelun suhteen. Onkin hyvä huomioda, että toinen tutkija olisi voinut päätyä myös erilaisiin luokitteluihin saman aineiston analysoinnissa.

7. Loppupäätelmät

Tulevaisuudessa yhä suurempi osa sähköstä tuotetaan sääriippuvaisella tuuli- ja aurinkoenergialla. Uusituvista energialähteistä on tullut kilpailukykyinen vaihtoehto perinteisille fossiiliselle tuotannolle. Vuoden 2018 aikana on uutisoitu uusista markkinaehtoisista tuulivoimahankkeista, jotka toteutetaan ilman valtion tuulivoimatukea. Hinnan laskun myötä useat toimijat muun muassa TuuliWatti, Google ja Ikea ovat investoineet uusiin tuulivoimapuistoihin Suomessa (Suomen Tuulivoimayhdistys 2018). Jos kehitys jatkuu samankaltaisena, vaihtelevan sähköntuotannon osuus tulee kasvamaan merkittävästi lähivuosina. Tästä syystä sähköjärjestelmän on alettava sopeutua vaihtelevaan energiantuotantoon jo nyt.

Kysyntäjousto on yksi menetelmä sähköjärjestelmän toimintavarmuuden lisäämiseksi joustamattoman tuotannon kasvaessa. Tapaustutkimus tarkastelee innovaatiopolun toimijoiden näkemyksiä kysyntäjoustop käytöön otosta päivittäistavarakaupassa. Suomen kahden suurimman päivittäistavarakauppaketjun sähkönkulutuksen osuus on noin 2 TWh, mikä vastaa noin 2 % Suomen kokonaiskulutuksesta (S-Ryhmä 2015; Kesko 2017). Vähittäiskauppojen rakennuskannassa on ajateltu olevan huomattavaa hyödyntämätöntä kysyntäjoustokapasiteettia. VIRPA-B –kokeilu ajoittuu murrosvaiheeseen, jossa kantaverkkoyhtiö on alkanut aktiivisesti etsiä uusia kysyntäjoustokohteita. Tapaustutkimuksen tulokset vahvistavat, että päivittäistavarakaupoissa on kysyntäjoustokapasiteettia, mutta osoittaa myös sen, että aggregoiminen ei toimijoiden mukaan ole nykyisillä markkinasäännöillä kannattavaa.

Tutkimus tuo uutta näkökulmaa teknologian käyttöönotosta ja kokeilujen merkityksestä energiamurroksen edistämiseksi. Kokeilujen avulla on saatu selville, että markkinapaikkojen säännöt eivät edistä aggregoidun kysyntäjoustop käyttöön ottoa. Aiemmassa tutkimuksessa tunnistetaan, että palveluiden ja markkinoiden keskeneräisyys on merkittävä haaste teknologian yleistymiselle (O’Connell ym. 2014b). Uudella toimialalla teknologia ja markkinasäännöt kehittyvät eriaikaisesti, mikä hidastaa kysyntäjoustop käyttöön ottoa. Kysyntäjoustop tutkimuksessa on peräänkuulutettu käytännön kokeilujen merkitystä (O’Connell ym. 2014c; Kivimaa ym. 2017). Mutta kokeilujen analysointi osoittaa myös tutkimusmenetelmän rajoitteet. Kysyntäjoustop kannattavuus on hyvin kiinteistökohtaista. Siinä missä jotkin kysyntäjoustop kohteet pärjäävät nykyisillä markkinoilla, toisille markkinasäännöt muodostavat esteen kysyntäjoustop kannattavuudelle.

Jouston tarpeen lisääntyessä tulisi keskustella siitä, tuottaako markkinaehtoinen kysyntäjousto tarpeeksi kapasiteettia sähkömarkkinoille. Toimijoilla on saattanut olla liian optimistiset odotukset kysyntäjouston taloudellisista kannustimista. Siitä huolimatta kokeiluun osallistuneiden toimijoiden mukaan kysyntäjousto on kuitenkin järjestelmätasolla kustannustehokas tapa tuottaa joustoa. Kilpailu kysyntäjoustomarkkinoilla on toivottavaa, mutta jos jouston hinta on liian alhainen se ei välttämättä motivoi sähkönkäyttäjää investoimaan kysyntäjoustoön ennen kuin jouston hinta kasvaa. Kustannustehokkuus näyttää toimivan jarruna teknologian nopealle skaalaamiselle. Toisaalta jos kantaverkkoyhtiön täytyy ostaa joustavaa kapasiteettia korkealla hinnalla, kustannukset heijastuvat lopulta myös kaikille sähkönkäyttäjille. Kysyntäjoustoteknologian hyödyt näkyvätkin nyt ensisijaisesti järjestelmän tasolla, eivät yksittäisen sähkönkäyttäjän sähkölaskussa.

Vaikka kokeilu ei päässyt kaikkiin tavoitteisiinsa, jaetut visio edistävää kokeilun skaalautumista uusien kokeilujen ja hankkeiden myötä. VIRPA-B:n opit skaalautuvat toistamisen ja vaikutusten kasautumisen kautta, mutta nopea skaalautuminen kysyntäjouston kohdalla näyttäisi edellyttävän muutoksia toimintaympäristössä. Toimintaympäristön muutos tapahtuu kuitenkin hitaasti. Tapaustutkimus osoittaa, että kokeilujen avulla toimijat pyrkivät vaikuttamaan uuden toimialan kehitykseen ja rakentavat itselleen asiantuntijuutta ja liiketoimintaa oman ydinosansa ulkopuolelle. Kokeilujen systemaattisessa analysoimisessa tulisikin entistä paremmin kiinnittää huomiota kaikkiin skaalautumisen muotoihin joilla oppiminen siirtyy kokeilujen välillä.

Vaikka tutkimani kokeilu toi esiin esteitä, se toi esiin myös mahdollisuuksia tarkastella uusien innovaatiopolkujen skaalautumista useiden eri teknologioiden vuorovaikutuksena. Kokeilu osoitti omalta osaltaan, että rakennukset tulisi nähdä osana sähköverkkoa. Rakennusten toteuttaminen yhtenä kokonaisuutena, johon sisällytetään esimerkiksi aurinkopaneelit ja edistynyt kulutuksen ohjaus, avaa mahdollisuuden sille, että rakennuskanta varautuisi lisääntyvään sääriippuaiseen tuotantoon. Samalla se antaisi sähkönkäyttäjille paremman valmiuden osallistua kysyntäjoustoön, jos jouston merkitys sähköjärjestelmän murroksessa kasvaa huomattavasti lähivuosina. Rakennusten sähköjärjestelmä toteuttaminen yhtenä kokonaisuutena, jossa huomioidaan sekä esimerkiksi aurinkopaneelit ja kysyntäjousto voisi olla toimintamalli, jolla kysyntäjoustoön liittyvät skaalautumisen esteet voitaisiin ylittää. Tulevaa tutkimusta tulisikin ohjata eri teknologioiden vuorovaikutuksen tarkasteluun, esimerkiksi hyödyntämällä Markardin ja Hoffmannin (2016) teknologioiden toisiaan täydentävien ominaisuuksien analyysiviitekehystä. Teknologioiden vuorovaikutuksen syvempi ymmärrys voisi tuoda syvempää ymmärrystä kestävyysmurroksista, eri teknologioiden vuorovaikutuksen tarkastelu voi osoittaa myös käytännön ratkaisuja.

8. Lähdeluettelo

- Aalto, A., Honkasalo, N., Järvinen, P., Jääskeläinen, J., Raiko, M. & Sarvaranta, A. 2012. Energiatoteutus ry, Fingrid Oyj. Mistä lisäjoustoa sähköjärjestelmään? Loppuraportti https://energia.fi/files/694/Mista_lisajoustoa_sahkojarjestelmaan_loppuraportti_28_11_2012.pdf (Viitattu 20.5.2018)
- Albadi, M. H. & El-Saadany, E. F. 2008. A summary of demand response in electricity markets. *Electric Power Systems Research* 78: 1989-1996.
- Annala, S., Honkapuro, S. & Ollikka, K. 2016. Energiaturroksen ennakoitavat vaikutukset 2030: Huipputeho ja varavoima. *Aalto-yliopiston julkaisusarja CROSSOVER*; 15/2016 15.
- Annala, S., Lukkarinen, J., Primmer, E., Honkapuro, S., Ollikka, K., Sunila, K. & Ahonen, T. 2018a. Regulation as an enabler of demand response in electricity markets and power systems. *Journal of Cleaner Production* 195: 1139-1148.
- Annala, S. Mendes, G. Honkapuro, S. Matos L. & Klein. L. P. 2018b. Comparison of opportunities and challenges in demand response pilots in finland and portugal. In: 2018 15th International Conference on the European Energy Market (EEM). Anonymous pp. 1-5.
- Apajalahti, E., Lovio, R. & Heiskanen, E. 2015. From demand side management (DSM) to energy efficiency services: A Finnish case study. *Energy Policy* 81: 76-85.
- Apajalahti, E., Temmes, A. & Lempiälä, T. 2018. Incumbent organisations shaping emerging technological fields: cases of solar photovoltaic and electric vehicle charging. *Technology Analysis & Strategic Management* 30: 44-57.
- Berninger, K., Heiskanen, E., Jalas, M., Kivimaa, P., Lovio, R. & Temmes, A. 2017. Suomi seuraaville sukupolville: Taloudellisten murrosten käsikirja. Into, Helsinki.
- Caputo, F., Buhnova, B. & Wallezky, L. 2018. Investigating the role of smartness for sustainability: insights from the Smart Grid domain. *Sustainability Science* 13: 1299-1309.
- Child, M., Koskinen, O., Linnanen, L. & Breyer, C. 2018. Sustainability guardrails for energy scenarios of the global energy transition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 91: 321-334.
- Ellabban, O., Abu-Rub, H. & Blaabjerg, F. 2014. Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39: 748-764.
- Elzen, B., Geels, F., & Green, K. 2004. System Innovation and the Transition to Sustainability: *Theory, Evidence and Policy*. 10.4337/9781845423421.

- Energiategollisuus Ry. 2018. Energiavuosi 2017 Sähkö.
https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/tilastot/sahkotilastot (Viitattu 9.11.2018)
- Eriksson, P. & Koistinen, K. 2014. Monenlainen tapaustutkimus. Helsinki:
 Kuluttajatutkimuskeskuksen tutkimuksia ja selvityksiä 11/2014
- Euroopan komissio 2017. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the internal market for electricity Brussels, 23.2.2017 COM (2016) 861 final/2
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_en_act_part1_v9.pdf (Viitattu 20.9.2018)
- Fingrid 2017. Johtokatu – tiekartta vihreään sähköjärjestelmään.
<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/kehityshankkeet/fingrid-tiekartta-vihreaan-sahkojarjestelmaan-2017-web.pdf> (Viitattu 23.10.2018)
- Fingrid 2018a. Markkinapaikat.
<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/kysyntajousto/markkinapaikat/> (Viitattu 19.9.2018)
- Fingrid 2018b. Kulutuksen ja tuotannon tasapainon ylläpito.
<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suomen-sahkojarjestelma/kulutuksen-ja-tuotannon-tasapainon-yllapito/> (Viitattu 19.11.2018)
- Fingrid 2018c. Tuulivoiman tuotanto. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/kulutus-ja-tuotanto/tuulivoiman-tuotanto/> (Viitattu 21.11. 2018)
- Fingrid 2018d. Aurinkovoima. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/kulutus-ja-tuotanto/aurinkovoima/> (Viitattu 21.11. 2018)
- Geels, F. W. 2002. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy* 31: 1257-1274.
- Geels, F. W. 2004. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy* 33: 897-920.
- Geels, F. W. 2018. Disruption and low-carbon system transformation: Progress and new challenges in socio-technical transitions research and the Multi-Level Perspective. *Energy Research & Social Science* 37: 224-231.
- Grubler, A. 2012. Energy transitions research: Insights and cautionary tales. *Energy Policy* 50: 8-16.
- Heiskanen, E., & Matschoss, K. 2016. Paikallisten ilmastokokeilujen arvioimisen haasteet. *Alue Ja Ympäristö* 45(2), 45-58.
- Hekkert, M. P., Suurs, R. A. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S. & Smits, R. E. H. M. 2007. Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change* 74: 413-432.
- Holtinen, H. & Tuhkanen, S. 2004. The effect of wind power on CO2 abatement in the Nordic Countries. *Energy Policy* 32: 1639-1652.

- Hommels, A., Peters, P. & Bijker, W. E. 2007. Techno therapy or nurtured niches? Technology studies and the evaluation of radical innovations. *Research Policy* 36: 1088-1099
- Honkapuro, S. & Auvinen, K. 2016. Policy Brief: Sähkön kysyntäjouaston kasvu edellyttää hintakannustimia ja rakentamisen ohjausta. http://smartenergytransition.fi/wp-content/uploads/2016/11/S%C3%A4hk%C3%B6n-kysynt%C3%A4jousto_SET-policy_brief_23112016.pdf (Viitattu 11.10.2018)
- International Energy Agency 2013. Secure and Efficient Electricity Supply during the Transition to Low Carbon Power Systems. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/SecureandEfficientElectricitySupply.pdf> (Viitattu 22.8.2018)
- International Energy Agency (IEA) 2014. World Energy Outlook 2014. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2014.pdf> (Viitattu 20.8.2018)
- International Energy Agency (IEA) 2017a. Renewables 2017, Analysis and Forecasts to 2022 <https://www.iea.org/media/publications/mtrmr/Renewables2017ExecutiveSummary.PDF> (Viitattu 7.9.2018)
- International Energy Agency (IEA) 2017b. World Outlook 2017. <https://www.iea.org/Textbase/npsum/weo2017SUM.pdf> (Viitattu 9.9.2018)
- International Energy Agency (IEA) 2018. Global Energy & CO2 Status Report 2017 <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GECO2017.pdf> (Viitattu 9.9.2018)
- International Renewable Energy Agency (IRENA) 2018. Renewable Power Generation Costs in 2017, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Järventausta, P., Repo, S., Trygg, P., Rautiainen, A., Mutanen, A., Lummi, K., ... Belonogova, N. 2015. Kysynnän jousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli): Loppuraportti. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
- Kemp, R., Schot, J. & Hoogma, R. 1998. Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: The approach of strategic niche management. *Technology Analysis & Strategic Management* 10: 175-198.
- Kesko 2017. Keskon vuosi 2017. Kestävä kehitys. https://kesko-ar-2017.studio.crasman.fi/file/dl/i/IF5W2g/ZKIXTRWufKfDNs5pTBJ_mw/Kesko_Kestv_kehitys_2017.pdf (2.12.2018)
- Kivimaa, P., Hildén, M., Huitema, D., Jordan, A. & Newig, J. 2017. Experiments in climate governance – A systematic review of research on energy and built environment transitions. *Journal of Cleaner Production* 169: 17-29.
- Kopsakangas-Savolainen, M., Mattinen, M. K., Manninen, K. & Nissinen, A. 2017. Hourly-based greenhouse gas emissions of electricity – cases demonstrating possibilities for households and companies to decrease their emissions. *Journal of Cleaner Production* 153: 384-396.

- Loorbach, D., van Bakel, J. C., Whiteman, G. & Rotmans, J. 2010. Business strategies for transitions towards sustainable systems. *Business Strategy and the Environment* 19: 133-146.
- Lovio, R., Mickwitz, P. & Heiskanen, E. 2011. Path dependence, Path creation and creative destruction in the evolution of energy systems. Teoksessa: Wustenhagen, R., & Wuebker, R. (toim.) *Handbook of energy entrepreneurship*. Edward Elgar. Pp 274-301
- Lund, P. D., Lindgren, J., Mikkola, J. & Salpakari, J. 2015. Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45: 785-807.
- Ma, Z., Dalmacio Billanes, J., Kjærgaard M. B., & Jørgensen, B. N. 2017. Energy flexibility in retail buildings: From a business ecosystem perspective, *14th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, Dresden, 2017, pp. 1-6.
- Markard, J. 2018. The next phase of the energy transition and its implications for research and policy. *Nature Energy* 3: 628-633.
- Markard, J. & Hoffmann, V. H. 2016. Analysis of complementarities: Framework and examples from the energy transition. *Technological Forecasting and Social Change* 111: 63-75.
- Markard, J. & Truffer, B. 2008. Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research Policy* 37: 596-615.
- Medina, J., Muller, N. & Roytelman, I. 2010. Demand Response and Distribution Grid Operations: Opportunities and Challenges. *IEEE Transactions on Smart Grid* 1: 193-198.
- Motiva 2012. Yksittäisen kohteen CO₂ -päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂ – päästökertoimet. https://www.motiva.fi/files/10239/CO2-laskentaohje_Yhteenvedot.pdf (Viitattu 25.10.2018)
- Motiva 2018. CO₂-päästökertoimet. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energiankulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet (20.11.2018)
- Naber, R., Raven, R., Kouw, M. & Dassen, T. 2017. Scaling up sustainable energy innovations. *Energy Policy* 110: 342-354.
- O'Connell, N., Madsen, H., Pinson, P. & O'Malley, M. 2014a. Modelling and Assessment of the Capabilities of a Supermarket Refrigeration System for the Provision of Regulating Power. *DTU Compute-Technical Report-2013*, no. 24, Technical University of Denmark (DTU), Kgs. Lyngby.
- O'Connell, N., Madsen, H., Pinson, P., O'Malley M. & Green, T. 2014b. Regulating power from supermarket refrigeration. In: *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, Europe*. Anonymous pp. 1-6.
- O'Connell, N., Pinson, P., Madsen, H. & O'Malley, M. 2014c. Benefits and challenges of electrical demand response: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39: 686-699.

- Olkkonen, L., Korjonen-Kuusipuro, K. & Grönberg, I. 2017. Redefining a stakeholder relation: Finnish energy “prosumers” as co-producers. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 24: 57-66.
- Olsthoorn, M., Schleich, J. & Klobasa, M. 2015. Barriers to electricity load shift in companies: A survey-based exploration of the end-user perspective. *Energy Policy* 76: 32-42.
- Pahkala, T., Uimonen, H. & Väre, V. 2017. Matkalla kohti joustavaa ja asiakaskeskeistä sähköjärjestelmää – Älyverkkotyöryhmän väliraportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja TEM raportteja 38/2017
- Palensky, P. & Dietrich, D. 2011. Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 7: 381-388.
- Paterakis, N. G., Erdinç, O. & Catalão, J. P. S. 2017. An overview of Demand Response: Key-elements and international experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 69: 871-891.
- Phuangpornpitak, N. & Tia, S. 2013. Opportunities and Challenges of Integrating Renewable Energy in Smart Grid System. *Energy Procedia* 34: 282-290.
- Raven, R. 2007. Niche accumulation and hybridisation strategies in transition processes towards a sustainable energy system: An assessment of differences and pitfalls. *Energy Policy* 35: 2390-2400.
- Raven, R., Van den Bosch, S. & Weterings R. 2010. Transitions and strategic niche management: towards a competence kit for practitioners. *International Journal of Technology Management (IJTM)*, Vol. 51, No. 1,
- Ruggiero, S., Martiskainen, M. & Onkila, T. 2018. Understanding the scaling-up of community energy niches through strategic niche management theory: Insights from Finland. *Journal of Cleaner Production* 170: 581-590.
- Schot, J. & Geels, F. W. 2008. Strategic niche management and sustainable innovation journeys: theory, findings, research agenda, and policy. *Technology Analysis & Strategic Management* 20: 537-554.
- SEDC, Smart Energy Demand Coalition, 2015. Mapping Demand Response in Europe Today 2015. <http://www.smartenergy.eu/wp-content/uploads/2015/09/Mapping-Demand-Response-in-Europe-Today-2015.pdf> (Viitattu 15.8.2018)
- SEDC, Smart Energy Demand Coalition, 2017. Explicit Demand Response in Europe – Mapping the Markets 2017. <http://www.smartenergy.eu/wp-content/uploads/2017/04/SEDC-Explicit-Demand-Response-in-Europe-Mapping-the-Markets-2017.pdf> (Viitattu 20.9.2018)
- Sengers, F., Wieczorek, A. J. & Raven, R. 2016. Experimenting for sustainability transitions: A systematic literature review. *Technological Forecasting and Social Change*

- Shariatzadeh, F., Mandal, P. & Srivastava, A. K. 2015. Demand response for sustainable energy systems: A review, application and implementation strategy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45: 343-350.
- Silvast, T. 2014. Sisällönanalyysi. Teoksessa: Massa: Polkuja yhteiskuntatieteelliseen ympäristötutkimukseen: s.33-48. Gaudeamus, Tampere
- Smith, A. & Raven, R. 2012. What is protective space? Reconsidering niches in transitions to sustainability. *Research Policy* 41: 1025-1036.
- S-Ryhmä 2015. Vuosikatsaus 2015. <https://www.s-kanava.fi/web/s-ryhma/raportit> (Viitattu 20.10.2018)
- S-Ryhmä 2017. Vuosikatsaus 2017. <https://www.s-kanava.fi/web/s-ryhma/vuosikatsaus/etusivu> (Viitattu 2.12.2018)
- Suomen Tuulivoimayhdistys 2018. Tuulivoimahankkeet Suomessa <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/hankelista> (Viitattu 20.11.2018)
- Sørensen, F., Mattsson, J. & Sundbo, J. 2010. Experimental methods in innovation research. *Research Policy* 39: 313-322.
- Söyrinki, S. 2017. Virtuaalinen palveluympäristö. Smart Energy Transition –hanke. <http://smartenergytransition.fi/wp-content/uploads/2017/11/Virtuaalinen-palveluymp%C3%A4rist%C3%B6.pdf> (Viitattu 20.8.2018)
- Tilastokeskus 2017. Uusiutuvan energian käyttö ennätystasolla vuonna 2016 http://www.stat.fi/til/ehk/2016/ehk_2016_2017-12-08_fi.pdf (Viitattu 30.8.2018)
- Torriti, J., Hassan, M. G. & Leach, M. 2010. Demand response experience in Europe: Policies, programmes and implementation. *Energy* 35: 1575-1583.
- Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2018. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Uudistettu laitos edition. Kustannusosakeyhtiö Tammi, Helsinki.
- Työ- ja Elinkeinoministeriö 2015. Komission tiedonanto energiamarkkinoiden uutta rakennetta koskevan julkisen kuulemisen käynnistämisestä. <https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Liiteasiakirja/Documents/EDK-2015-AK-9132.pdf> (Viitattu 15.6.2018)
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Helsinki. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul_4_2017_verkkojulkaisu.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Viitattu 27.8.2018)
- Van Kleef, J. A. G. & Roome, N. J. 2007. Developing capabilities and competence for sustainable business management as innovation: a research agenda. *Journal of Cleaner Production* 15: 38-51.

- Verbong, G. P. J. & Geels, F. W. 2007. The ongoing energy transition: Lessons from a socio-technical, multi-level analysis of the Dutch electricity system (1960–2004). *Energy Policy* 35: 1025-1037.
- Verbong, G. P. J. & Geels, F. W. 2010. Exploring sustainability transitions in the electricity sector with socio-technical pathways. *Technological Forecasting and Social Change* 77: 1214-1221.
- Verdolini, E., Vona, F. & Popp, D. 2018. Bridging the gap: Do fast-reacting fossil technologies facilitate renewable energy diffusion? *Energy Policy* 116: 242-256.
- Verzijlbergh, R. A., De Vries, L. J., Dijkema, G. P. J. & Herder, P. M. 2017. Institutional challenges caused by the integration of renewable energy sources in the European electricity sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 75: 660-667.
- Vilkka, H., Saarela, M. & Eskola, J. 2018. Riittääkö yksi? Tapaustutkimus kuvaajana ja selittäjänä. teoksessa: Valli, R. (2018). Ikkunoita tutkimusmetodeihin: 1, Metodien valinta ja aineistonkeruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle (5., uudistettu painos.). Jyväskylä: PS-kustannus.
- VTT 2016. Uusi menetelmä auttaa tasapainottamaan sähkön tuotantoa ja kulutusta. <https://www.vtt.fi/medialle/uutiset/uusi-menetelmä-auttaa-tasapainottamaan-sähkön-tuotantoa-ja-kulutusta> (Viitattu 20.7.2018)
- VTT 2017. S-Market Tuira. <http://smartgrid.vtt.fi/s-market/tuira/> (Viitattu 12.6.2017)
- Weber, M., Hoogma, R., Lane, B., & Schot, J. W. 1999. Experimenting with sustainable transport innovations: a workbook for strategic niche management. Seville/Enschede: Universiteit Twente.
- Yin, R. K. 2009. Case study research: Design and methods. 4th edition. Sage Publications, Thousand Oaks (Calif.).
- Ympäristöministeriö, 2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta <file:///C:/Users/siirsoyr/Downloads/PM%2012017%2019%2012%20D3%20uusimisesta.pdf> (Viitattu 23.8.2018)

Liitteet

Liite 1. Tutkielman kirjallinen aineisto

Julkaisun nimi	Päivämäärä/ tekijä	Linkki
Uusi menetelmä auttaa tasapainottamaan sähkön tuotantoa ja kulutusta	8.2.2016 / VTT	https://www.vtt.fi/medialle/uutiset/uusi-menetelm%C3%A4-auttaa-tasapainottamaan-s%C3%A4hk%C3%B6n-tuotantoa-ja-kulutusta
Maailman energiapihein market löytyy Suomesta - ottaa puolet energiastaan auringosta	13.6.2017 / VTT	https://www.vtt.fi/medialle/uutiset/maailman-energiapihein-market-l%C3%B6ytyy-suomesta-ottaa-puolet-energiastaan-auringosta
Energiapihi market käyttää hyväkseen aurinkoa – hiilijalanjälki pienenee ja säästöjä syntyy	13.6.2017 / Risto Degerman, Yle	https://yle.fi/uutiset/3-9665949
Oulussa toimii maailman energiapihein kauppa – jopa kylmäketju pärjää hetkittäin omillaan.	26.4.2017 / Arja Mikkola, Kaleva	http://www.kaleva.fi/uutiset/talous/oulussa-toimii-maailman-energiapihein-kauppa-jopa-kylmaketju-parjaa-hetkittain-omillaan/758238/
Case: Sähkönkulutus joustaa	S-Ryhmä vuosikatsaus 2015, s. 92	https://www.s-kanava.fi/web/s-ryhma/raportit
S-ryhmän kysyntäjoustoprojekti ”HertSi” Loppuraportti	9.12.2015 / S-Ryhmä	https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/kysyntajousto/kysyntajoustoprojekti-s-ryhmassa-loppuraportti.pdf
VTT: Kysynnänjousto edellyttää toimivia markkinoita	29.05.2018 / Sähköala.fi	http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/energiatehokkuus/fi_FI/VTT_kysynnänjousto_edellyttää_toimivia_markkinoita/
Säätövoimaa tulevaisuuden sähkömarkkinalle - Rakennus kertomaan omasta kulutuksestaan	18.4.2018 / VTT	https://www.vtt.fi/medialle/uutiset/s%C3%A4%C3%A4t%C3%B6voimaa-tulevaisuuden-s%C3%A4hk%C3%B6markkinalle
Sähkölämmitys toviksi pois, ilmanvaihto pienemmälle- Automarketit halutaan tasaamaan tuulivoiman vaihtelua	18.4.2018 klo 17:35 / Yle	https://yle.fi/uutiset/3-10165328
S-Ryhmästä Suomen suurin aurinkosähkön tuottaja	16.4.2018 / S-Kanava	https://www.s-kanava.fi/uutinen/s-ryhmasta-suomen-suurin-aurinkosahkon-tuottaja/4451599_384136
Yhteisellä tiellä kohti tulevaisuuden sähköjärjestelmää	5.12.2016 / Fingrid	https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisu/sahkomarkkinoiden_tulevaisuus.pdf
Säätövoimaa tulevaisuuden sähkömarkkinalle	18.4.2018 / Klaus Käsälä ja Kalle Hammar	https://www.vtt.fi/inf/pdf/whitepapers/VTTWhitePaper2018-SaatoVoimaa_tulevaisuuden_sahkomarkkinalle.pdf

Liite 2. Haastattelurunko 2017

- 1) Mikä on organisaation rooli kokeilussa?
- 2) Mistä idea lähti liikkeelle? Miten pilotti kohteet (logistiikkakeskus, Oulun s-market) valittiin?
 - a) Mikä meni odotusten mukaisesti ja mikä ei? Mitkä asiat yllättivät? Miksi?
 - b) Mikä oli vaikeaa?
 - i. Teknisessä toteutuksessa
 - ii. Hankkeen koordinoinnissa ja vuorovaikutuksessa
 - c) Mikä oli helppoa tai mikä yllätti positiivisesti?
 - d) Muutettiin joitakin suunnitelmia? Miksi ja miten?
 - e) Tarvittiinko uutta osaamista alkuperäisen toimijajoukon ulkopuolelta?
 - f) Miten hyvin kokeilun tekemiset sopivat mukana olevien toimijoiden toimintatapoihin ja –rakenteisiin?
 - g) Muutettiin kokeilun perusteella joitakin toimintatapoja?
 - i) Pilotissa kokeiltiin uutta teknologiaa mitä asioita hankkimaan/tekemään varta vasten kokeilua varten?
 - j) Oliko mukana olevilla toimijoilla erilaisia odotuksia? Muuttuivatko ne kokeilun aikana?
 - k) Miten pilotissa/kokeilussa olevat toimijat vuorovaikuttivat keskenään (listaa toimijat alusta)? Oliko säännöllisiä tapaamisia? Miten tietoa osapuolten odotuksista, ongelmista, saavutuksista kerättiin?
 - l) Jäikö pilotista/kokeilusta omaan organisaatioonne jotain pysyvää osaamista tai toimintatapaa, jonka nyt osaatte hyvin?
- 3) Oliko tiedon vaihtoa samanaikaisten muiden pilottien/kokeilujen kanssa?
- 4) Miten pilottia/kokeilua on dokumentoitu?
- 5) Onko pilottia/kokeilua arvioitu?
- 6) Missä kaikkialla pilotin/kokeilun tuloksista on viestitty?
- 7) Onko ollut helppoa kertoa ja saada tietoa sekä onnistumisista että epäonnistumisista?
- 8) Onko toimintaympäristössä tekijöitä, jotka estävät toteuttamista tai tekijöitä, jotka estävät toiminnan skaalaamista laajemmalle?
- 9) Syitä teknologia ja ratkaisuvaihtoihin, liittymäkohdat laajempiin kehityslinjoihin
 - i) Linkitykset muihin teknologioihin, mm. IoT-teknologia
- 10) Miten erilaisten ratkaisujen välinen vuorovaikutus otetaan huomioon suunnittelussa ja arvioinnissa?
- 11) Millä mittareilla/kriteereillä onnistumisia arvioidaan?

Liite 3. Haastattelurunko 2018

1. Miten Virtuaalinen palveluympäristökokeilu onnistui?

- 1.1. Millaisia tuloksia kokeilusta on saatu?
- 1.2. Tekisittekö jotain eri tavalla?
- 1.3. Miten yhteistyö muiden tahojen kanssa sujui?
- 1.4. Muuttuiko yhteistyöverkosto kokeilun aikana?
- 1.5. Miten tietoa jaettiin?
- 1.6. Millaisia odotuksia kokeilun suhteen oli ja muuttuivatko ne kokeilun edetessä?
- 1.7. Täyttikö kokeilu sille asetetut tavoitteet?
- 1.8. Mitä kokeilun aikana opittiin?
 - 1.8.1. Teknologiasta
 - 1.8.2. Käyttäjien vaatimuksista
 - 1.8.3. Jotain muuta
- 1.9. Oliko kokeilu mielestäsi onnistunut?

2. Skaalataanko kokeilua?

- 2.1. Jatketaanko kokeilua?
- 2.2. Miten?
- 2.3. Miksi?
- 2.4. Toistetaanko kokeilussa ollut asetelma samalaisena vai muutetaanko jotakin?
- 2.5. Keiden kanssa kokeilua jatketaan? Fortumin kanssa aurinkopaneelit, entä kysyntäjousto?
- 2.6. Mitkä tekijät rajoittavat kokeilun skaalaamista?
- 2.7. Aiotaanko kokeilun tuomia oppeja hyödyntää jotenkin muuten?
- 2.8. Investoidaanko kysyntäjoustoön tulevaisuudessa vielä lisää?
- 2.9. Mitä pitäisi tehdä, että kysyntäjousto yleistyisi?

3. Miten kysyntäjousto mahdollistaa muutoksen kestävään energiajärjestelmään?

- 3.1. Mitä hyötyä kysyntäjoudesta on päivittäistavarakaupassa? Voidaanko kysyntäjousto hyödyntää muissa liiketiloissa?
- 3.2. Miten kysyntäjousto liittyy organisaation energiatarpeisiin?
- 3.3. Kysyntäjoustoinvestoinnit on liitetty yhteen aurinkopaneelien kanssa, miksi?
- 3.4. Mikä on S-Ryhmän säätövoima kapasiteetti, kun uudet investoinnit ovat valmiita?
 - 3.4.1. Paljonko säätövoimaa on yhdessä kaupassa?
- 3.5. Mitkä ovat kysyntäjouston hyödyt yrityksen vastuullisuus näkökulmasta?
- 3.6. Onko tehty CO₂ päästölaskelmia? Tai laskettu säästyykö energiaa?
- 3.7. Uusiutuvien energialähteiden täydentäminen. Tukeeko kysyntäjousto teknologia muita teknologioita, miten?

Tuleeko mieleen henkilöitä joita minun olisi vielä hyödyllistä haastatella?